

**VŠB – Technická univerzita Ostrava
Fakulta elektrotechniky a informatiky
Katedra telekomunikační techniky**

**Lokalizace kontaminace odpadních vod prostřednictvím
optovláknového DTS systému**

**Localization of Waste Water Contamination using Optical-
Fiber DTS System**

rok 2013

Bc. Martin Chlebek

VŠB - Technická univerzita Ostrava
Fakulta elektrotechniky a informatiky
Katedra telekomunikační techniky

Zadání diplomové práce

Student: **Bc. Martin Chlebek**

Studijní program: N2647 Informační a komunikační technologie

Studijní obor: 2601T013 Telekomunikační technika

Téma: Lokalizace kontaminace odpadních vod prostřednictvím optovláknového DTS systému
Localization of Waste Water Contamination using Optical-Fiber DTS System

Zásady pro vypracování:

Diplomová práce je zaměřena do problematiky kontaminace odpadních vod prostřednictvím vtoků splaškových vod do oddílené srážkové kanalizace. Novinkou v oblasti lokalizace kontaminace je tzv. holandská metoda využívající optovláknového DTS (*Distribution Temperature Systems*) systému. Úkolem studenta bude experimentální ověření této metody v laboratorních i reálných podmínkách spolu s návrhem analyzační aplikace.

1. Popište problematiku kontaminace odpadních vod v oddílené srážkové kanalizaci.
2. Proveďte experimentální měření v laboratorních podmínkách s využitím optovláknového DTS systému na bázi Ramanova nelineárního rozptylu a analyzujte výstupní hodnoty.
3. Vytvořte aplikaci, která bude schopna analyzovat naměřené hodnoty z optovláknového DTS systému.
4. Výsledky práce potvrďte v reálných podmínkách.

Seznam doporučené odborné literatury:

Langeveld, J. G., De Haan, C., Klootwijk, M., & Schilperoort, R. P. S. Monitoring the performance of a storm water separating manifold with distributed temperature sensing. *Water Science and Technology*. Volume 66, Issue 1, 2012, pp. 145-150. ISSN 0273-1223.

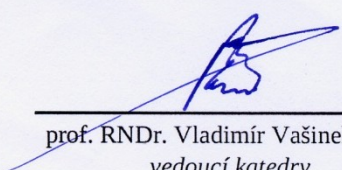
HOES, O.A.C. Locating illicit connections in storm water sewers using fiber-optic distributed temperature sensing. *Water Research*. Volume 43, Issue 20, December 2009, pp. 5187-5197. ISSN 0043-1354.

Formální náležitosti a rozsah diplomové práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

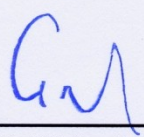
Vedoucí diplomové práce: **Ing. Petr Koudelka**

Datum zadání: 16.11.2012

Datum odevzdání: 07.05.2013


prof. RNDr. Vladimír Vašínek, CSc.
vedoucí katedry





prof. RNDr. Václav Snášel, CSc.
děkan fakulty

Prehlásenie študenta

Prehlasujem, že som túto diplomovú prácu vypracoval samostatne. Uviedol som všetky literárne pramene a publikácie, z ktorých som čerpal.

Dňa: 3.5 2013


.....
podpis študenta

Pod'akovanie

Rád by som poďakoval vedúcemu mojej diplomovej práce Ing. Petrovi Koudelkovi za odbornou pomoc a konzultáciu. Za poskytnuté informácie a odbornú pomoc ďakujem pánovi Danielovi Hrdému z firmy Veolia, a.s..

Abstrakt

Diplomová práca sa zaoberá novou metódou vyhľadávania vtoku splaškovej vody do zrážkovej kanalizácie. V teoretickej časti diplomovej práce je popísané delenie odpadovej vody a druhy kanalizácií. V ďalšej časti sú popísané najpoužívanejšie metódy vyhľadávania kontaminácie odpadných vôd. Praktická časť je rozdelená do troch častí. Prvá časť je zameraná na laboratórne meranie pomocou zariadenia DTS. Bola zrealizovaná trasa, ktorá bola vystavená kontaminácií vody. Spracovať namerané dáta laboratórneho merania zo zariadenia DTS navrhnutým analyzačným softwarom je zameraná druhá časť. Analyzačná aplikácia bola napísaná v programovacom prostredí Matlab. V poslednej praktickej časti popisujem postup reálneho merania a analyzujem namerané hodnoty zo zariadenia DTS. Meranie prebiehalo v Prahe. V závere porovnávam dva typy optických káblov, ktoré boli použité pri reálnom meraní.

Kľúčové slova

DTS, mnohovidový optický kábel, odpadová voda, zrážková kanalizácia, analyzačná aplikácia, teplota, kontaminované miesto, stimulovaný Ramanov rozptyl, Raman, anti-Stokes, Stokes, optický senzor, optický kábel

Abstract

Diploma Thesis deals with new method of searching place of wastewater contamination into rainwater sewer. In the theoreticall part of diploma thesis, dividing wastewater and types of swers are described. Second part deals with descipion of the most used methods of searching the place of wastewater contamination. Practical part is divided into three main parts. First part is focused on laboratory measurements using DTS device. Realizated route was exposed to water contamination. Second part was discussing about analyzing measured data obtained from DTS device during laobratory experiment using designed analytaion software. This aplication was created using Matlab Software. In the last part of practical part, process of real measurement experiments is described and outputs from these measurement are analyzed. Measerument takes place in Prague. In the end of thesis, two types of optical fibres used for experiments are compared.

Key words

DTS, multimode optical fibers, wastewater, rainwater sewer, analytic application, temperature, contaminated place, stimulated Raman scatter, Raman, anti-Stokes, Stokes, optical senzor, optical fiber

Zoznam použitých symbolov

Symbol	Jednotky	Význam symbolu
I	A	Prúd
I_{thr}	A	Prahový prúd
E	J	Energia dopadajúceho fotónu
I_S	$V.m^{-1}$	Intenzita Stokesovej vlny
I_{AS}	$V.m^{-1}$	Intenzita anti-Stokesovej vlny
h	J.s	Planckova konštanta
ω	$rad.s^{-1}$	Uhlová frekvencia
α	$C.m^2.V^{-1}$	Polarizabilita/Elektrická polarizovateľnosť
μ_0	C.m	Dipólový moment
I	$V.m^{-1}$	Intenzita elektrického poľa
ν_0	Hz	Frekvencia budiaceho žiarenia
ν_{vib}	Hz	Vibračná frekvencia
t	s	Čas
g	W	Faktor zosilnenia
P_R	W	Prahový optický výkon
d	m	Priemer
λ	m	Vlnová dĺžka
α_{dB}	$db.km^{-1}$	Útlm
c	$m.s^{-1}$	Rýchlosť svetla
A_e	m	Efektívny prierez jadra vlákna
T	°C	Termodynamická teplota
k	$J.K^{-1}$	Boltzmanová konštanta
L_e	m	Efektívna dĺžka
n		Index lomu

Zoznam použitých skratiek

Skratka	Anglický význam	Slovenský význam
DTS	Distributed Temperature Sensing	Distribované snímanie teploty
OTDR	Optical Time-Domain Reflectometer	Optický časový reflektometer
BSK	Biochemical Oxygen Demand	Biochemická Spotreba Kyslíka
CHSK	Chemical Oxygen Demand	Chemická Spotreba Kyslíka
NL	Insoluble Substances	Nerozpustné Látky
RL	Soluble Substances	Rozpustné Látky
EU	European Union	Európska Únia
PVC	Polyvinyl Chloride	Polyvinylchlorid
PP	Polypropylene	Polypropylén
PE	Polyethylene	Polyetylén
CCTV	Closed-Circuit Television	Uzavretý televízny okruh
DVD	Digital Versatile Disc	Digitálny univerzálny disk
MM	Multi-mode	Mnohovidové
SRS	Stimulated Raman Scattering	Stimulovaný Ramanov rozptyl
IEC	International Electrotechnical Commission	Medzinárodná elektrotechnická komisia
JPEG	Joint Photographic Experts Group	Kĺbova fotografická expertná skupina
BMP	Bitmap	Bitmap
PNG	Portable Network Graphics	Prenosná sieťová grafika
PDF	Portable Document Format	Prenosný dokument formát
FRNC	Flame Retardant Non Corrosive	Ohňovzdorné nekorodujúce

Zoznam použitých termínov

Termín	Význam termínu
Vlnová dĺžka	Vzdialenosť v smere šírenia periodickej vlny medzi dvoma susednými bodmi, v ktorých je v danom čase rovnaká fáza.
Energia žiarenia	Energia vyžarovaná, prenášaná alebo prijímaná ako žiarenie.
Intenzita žiarenia	Žiarivý tok dopadajúci na plošný element v danom bode, delený plošným obsahom tohto elementu.
Frekvencia	Počet cyklov delený časovým intervalom $f=1/T$.
Index lomu	V neabsorbujúcom prostredí pomer rýchlosti elektromagnetického žiarenia vo vákuu a fázovej rýchlosti tohto žiarenia so špecifikovanou frekvenciou v uvažovanom prostredí.
Elektrický dipólový moment	Vektorová veličina, ktorej vektorový súčin s vektorom intenzity elektrického poľa E sa rovná rotačnému momentu sily.
Elektrický prúd	Elektrický prúd je usporiadaný pohyb nosičov elektrického náboja, vyjadruje množstvo náboja prejdeného za jednotku času.
Elektrická polarizovateľnosť	Indukovaný elektrický dipólový moment delený intenzitou elektrického poľa.
Intenzita Elektrického poľa	Sila, ktorou pôsobí elektrické pole na elektrický bodový náboj, delená elektrickým nábojom.
Homogenita	Vlastnosť vecí majúce podobné prvky ako povahu, kvalitu, štruktúru.
Hydrobiológia	Vedný odbor, skúmajúci živé organizmy vo vodnom prostredí.
Botanika	Vedný odbor z biologického vedného systému, študuje život rastlinných organizmov.
Hydrológia	Náuka o vodách, ich obeh v prírode.
Hydrochémia	Náuka o chemických vlastnostiach vody.
Monochromatické svetlo	Elektromagnetické žiarenie v oblasti viditeľného svetla, ktoré obsahuje iba vlnenie jedinej vlnovej dĺžky.

Obsah

1	Úvod.....	1
2	Odpadové vody	2
	2.1 Splašková odpadová voda	3
	2.2 Zrážková voda	4
	2.3 Priemyselná odpadová voda	4
3	Stoková sieť	5
	3.1 Tvary a rozmery stok.....	6
	3.2 Nelegálne prípojky	7
	3.3 Vyhľadávanie nelegálnych prípojok	9
	3.3.1 Metódy vyhľadania nelegálnych prípojok.....	9
4	Ramanov rozptyl.....	11
	4.1 Ramanov stimulovaný rozptyl.....	11
5	DTS.....	14
	5.1 Raman DTS	16
6	Meranie v laboratórnych podmienkach a návrh analyzačnej aplikácie.....	18
	6.1 Laboratórne meranie.....	18
	6.1.1 Konfigurácia DTS zariadenia	19
	6.1.2 Meranie trasy v laboratórnych podmienkach	21
	6.2 Analyzačná aplikácia.....	24
	6.2.1 Grafy a vyhľadávanie kontaminovaných miest.....	26
	6.3 Vyhodnotenie laboratórneho merania analyzačnou aplikáciou.....	32
7	Meranie v reálnych podmienkach	36
	7.1 Príprava optického kábla	36
	7.2 Natiahnutie optických káblov do zrážkovej kanalizácie	38
	7.3 Vyhodnotenie reálneho merania analyzačnou aplikáciou	40
	7.4 Porovnanie optických káblov použité pri reálnom meraní.....	43

8	Záver	46
	Použitá literatúra	48
	Zoznam ilustrácií.....	50
	Zoznam tabuliek.....	52
	Zoznam príloh	LIII

1 Úvod

Normy v EU, ktoré sa neustále vyvíjajú, sú považované za jednu z najprísnejších. V súčasnosti patrí medzi hlavné priority Únie ochrana životného prostredia. Ochrana spoločných európskych vodných zdrojov a ekosystémov pred znečistením si vyžaduje koordinované opatrenia na úrovni EÚ. Politika únie v oblasti ochrany vodných zdrojov má za cieľ zabezpečiť, aby všetky vodné zdroje v celej Európe spĺňali minimálne požiadavky na čistotu.

K dňu 1.1. 2008 bola ukončená platnosť povolenia k vypúšťaniu odpadových vôd do vôd povrchových alebo podzemných, ktoré boli vydané pred rokom 2002. Až do konca júna 2007 mali občania možnosť si predĺžiť alebo požiadať o nové povolenie. Medzi odpadové vody sa zaraďujú vody splaškové, zrážkové a priemyselné. Pri vypúšťaní odpadových vôd do povrchových alebo podzemných, musí byť vydané povolenie príslušného správneho orgánu, tzv. vodoprávneho úradu, podľa Zákona o vodách. Povolenie nie je potrebné, pokiaľ sa odpadné vody odvádzajú verejnou kanalizáciou, ale musí spĺňať technické podmienky týkajúce sa najmä miesta a spôsobu pripojenia na verejnú kanalizáciu a uzatvoriť zmluvu o pripojení s vlastníkom verejnej kanalizácie. Kanalizácia alebo stoková sieť je rozdelená na tri druhy a to na jednotnú, delenú a kombinovanú stokovú sústavu, všetky systavy sú popísané v kapitole 3. Prípojky, ktoré neboli odborne vykonané alebo boli zrealizované prevádzkovateľom kanalizácie, alebo odbornou firmou a nie sú používané na účel, pre ktorý boli zrealizované, sú považované za nelegálne, tzv. „čierne prípojky“. Nelegálnymi prípojkami sa odvádza odpadná voda do stokovej sústavy, ktorá nie je určená pre tento druh odpadnej vody. Tým dochádza nielen k estetickým problémom povrchovej vody ale aj k znečisteniu životného prostredia. Preto sa kanalizačné spoločnosti snažia vyhľadávať, takéto nelegálne prípojky, aby zabránili znečisťovaniu životného prostredia a nezaťažovali čističky odpadných vôd veľkým množstvom vody. K vyhľadávaniu čiernych prípojok využívajú metódy ako kamerový systém, farbiacu skúšku, dymovú skúšku, vizuálny prieskum alebo hydrochemický prieskum. Ak dôjde k odhaleniu nelegálnemu vypúšťaniu odpadovej vody, ukladá príslušný vodoprávny úrad sankcie vo výške od 1 000 do 50 000 Kč pre fyzické osoby a pre právnické osoby až do výšky 10 miliónov Kč.

V diplomovej práci sa venujem ďalšej metóde vyhľadávania nelegálnych prípojok v zrážkovej stokovej sieti pomocou optického distribuovaného snímania teploty. S touto metódou prišli na Delft Univerzite v Holandsku, odkiaľ som čerpal informácie. Ako prvý krok bolo zrealizované meranie v laboratórnych podmienkach a zo získaných výsledkov navrhnutý analyzačný software. Analyzačný software je napísaný v programovacom jazyku Matlab. Posledným krokom je popis zrealizovaného merania v reálnych podmienkach a analýza dát z merania, navrhnutým programom. V reálnom meraní boli súčasne použité dva typy optických káblov, v závere diplomovej práci som porovnal výsledky u oboch týchto káblov.

2 Odpadové vody

Podľa zákona o vodách č. 254/2001 Sb., tzv. vodný zákon, sa za odpadné vody považujú vody použité v sídliskách, obciach, domoch, závodoch, v zdravotníckych zariadeniach a iných objektoch či zariadení, pokiaľ majú tieto vody zmenenú teplotu alebo zloženie a môžu ohroziť jakosť povrchových alebo podzemných vôd. Iné vody, považované za odpadné vody, sú odtoky zrážkovej vody, pokiaľ boli po spadnutí znečistené a pokiaľ môžu ohroziť jakosť povrchových alebo podzemných vôd. V súčasnej dobe je v novele vodného zákona uvažované o zrážkovej vode ako o vode povrchovej. Ďalej sa medzi odpadné vody radia presakujúce vody zo skládok odpadu a odkalísk.

V zákone je uvedené, ktoré vody sa nezaraďujú medzi odpadné vody. Sú to tie, ktoré svojou kvalitou neohrozujú okolité povrchové alebo podzemné vody. Sú to nepoužité minerálne vody z prírodného liečivého prameňa, vody z drenážnych systémov používaných v poľnohospodárstve, vody z plavidiel a také, ktoré pri chladení vodnej turbíny zmenili svoju teplotu ale nie kvalitu. Kolobeh vody v prírode a jej pohyb sú základnými vlastnosťami vody. Na jej význam pre prírodu sa začal brať ohľad až v posledných rokoch. Dôležitou vlastnosťou povrchových vôd je samočistiteľnosť, t.j. schopnosť do určitej miere likvidovať znečisteniny. Odpadné vody sa rozdeľujú na niekoľko druhov. Ich delenie závisí na spôsobe vzniku a na množstve obsiahnutého znečistených látok v týchto odpadných vodách:

- Splašková odpadová voda (komunálna).
- Zrážková voda (atmosférická).
- Priemyselná odpadová voda.

Odpadné vody sú znečistené množstvom látok s rôznymi vlastnosťami, ktoré sú uvedené v tabuľke 2.1. Ukazovateľom znečistenia môže byť celá rada. Volí sa vždy také, ktoré je pre daný účel najvhodnejšie. Preto sa líšia obvykle používané ukazovatele napríklad pre pitnú vodu, pre splaškovú alebo priemyselnú odpadnú vodu. Pre odpadnú vodu sa najčastejšie používajú tzv. skupinové ukazovatele znečistenia, ktorými sú [1]:

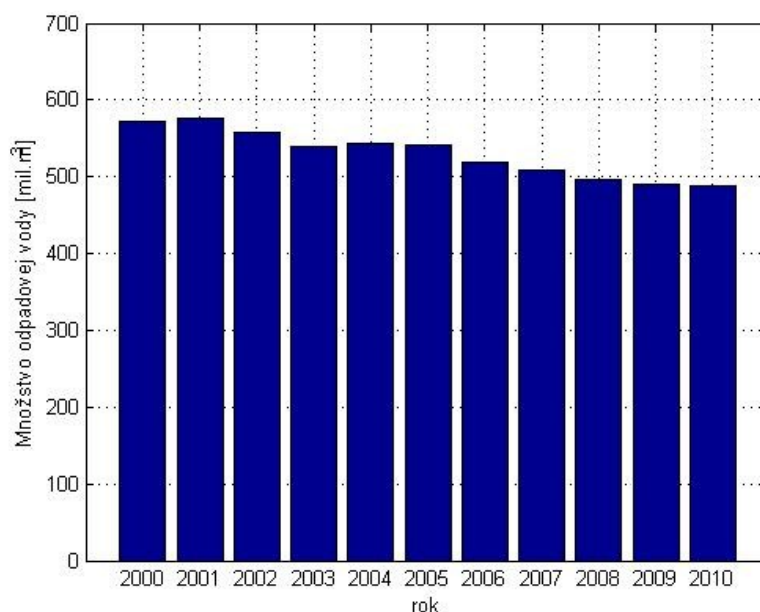
- BSK₅ biochemická spotreba kyslíka,
- CHSK chemická spotreba kyslíka,
- NL nerozpustné látky,
- RL rozpustné látky.

Tabuľka 2.1: Prehľad znečisťujúcich látok v odpadných vodách

Rozpustné	organické	biologicky rozložiteľné		cukry, mastné kyseliny
		biologicky nerozložiteľné		farbiva
	Anorganické			ťažké kovy, sulfidy
Nerozpustné	organické	biologicky rozložiteľné		škrob, baktérie
		biologicky nerozložiteľné		plasty, papier
		Usaditeľné		celulóзовé vlákna
		Neusaditeľné	koloidné	Baktérie
			plávajúce	Papier
	anorganické	Usaditeľné		piesok, hlina
		Neusaditeľné		brusný prach

2.1 Splašková odpadová voda

Je to odpadná voda vypustená do verejnej kanalizácie z bytov a obytných domov. Patria k nim i odpadné vody z mestskej vybavenosti, ako sú školy, reštaurácie, hotely, kultúrne zariadenia a pod., majúce podobný charakter ako odpadné vody od obyvateľov. Špecifické množstvo splaškovej vody (množstvo od 1 obyvateľa za deň) závisí na bytovej vybavenosti a je prakticky zhodné so spotrebou pitnej vody. Pri prepočte na spotrebu vody 200 l na obyvateľa za deň vychádza v splaškovej odpadovej vode koncentrácia močoviny 150 mg.l^{-1} , chloridov 45 mg.l^{-1} a celkového fosforu 6 mg.l^{-1} . Množstvo odpadových látok, pripadajúcich na 1 obyvateľa za deň, vyjadrené ako BSK₅ sa pohybuje v rozmedzí 54 – 70 g. Množstvo splaškových odpadových vôd vypúšťaných do tokov má klesajúcu tendenciu ako je znázornené na obrázku 2.1. Hodnoty v grafe sú získané z ČSU.



Obrázok 2.1: Znáznornenie objemu odpadných vôd vypustených do kanalizácie [mil.m³],[2].

Látky obsiahnuté v splaškových vodách majú pôvod z pitnej vody, ktorou je zásobované obyvateľstvo, v produktoch metabolizmu (exkrementy) a v produktoch ľudských činnosti v domácnosti, ktoré sú splachované do verejnej kanalizácie ako zvyšky jedla, čistiace prostriedky a iné. Z organických látok sú v splaškových vodách zastúpené tri hlavné skupiny, obsiahnuté v prírodných materiáloch a to proteiny (bielkoviny), sacharidy a lipidy (z nich predovšetkým tuky).

2.2 Zrážková voda

Odpadové vody zrážkové, sú vody odvádzané zo zastavaných plôch obcí, súčasne so splaškovou vodou alebo samostatne verejnou kanalizáciou. Ich veľkosť závisí na veľkosti odvodňovanej plochy, jej kvalite (sklonu, povrch) a intenzite zrážok. Pri krátkodobých zrážkach dosahuje maximálny prietok zďaleka väčšie hodnoty ako prietok splaškových a priemyselných odpadných vôd a preto na zrážkovú vodu musí byť dimenzovaná kanalizácia. Zrážková odpadová voda má veľkú rozkolísanosť prietoku v čase [3].

Kvalita zrážkových vôd je veľmi premenlivá a závisí na mnohých okolnostiach. Nečistoty povrchu vozoviek sú spláchnuté dažďovou vodou, ktoré môžu byť silné znečistené po dlhšom bezdažďovom období. Uvádza sa, že koncentrácia organických znečistenín v týchto vodách je podobná ako vo vodách splaškových, preto je snaha o zachytenie a čistenie. Počas veľkého intenzívneho dažďa dochádza k splachovaniu piesku. Ďalší podiel dažďových vôd je už podstatne menej znečistený. V zime sa dostáva do zrážkových vôd z topiaceho snehu veľké množstvo posypovej soli z vozoviek, čo sa prejavuje prechodne veľkým nárastom koncentrácie chloridu.

2.3 Priemyselná odpadová voda

Je vypustená do verejnej kanalizácie z priemyselných závodov, prípadne predčistená v závode, čiže zbavené toxických a pre verejné kanalizácie škodlivých látok. Radia sa k nim aj odpadné vody z poľnohospodárstva. Priemyselné odpadové vody sú vypustené do vodných recipientov, buď samostatne alebo spolu so splaškovými odpadnými vodami, prostredníctvom verejnej kanalizácie. Vzhľadom k rôznym technologickým procesom priemyselných výrob nedokážeme podať u priemyselných odpadných vôd obecnú charakteristiku jej kvality. U týchto vôd je treba vždy posúdiť, či neobsahujú v nepripustných koncentráciách látky toxické, horľavé, výbušné a inak škodlivé pre funkčnosť čistiarni a kanalizácií.

3 Stoková sieť

Základnou podmienkou stokovej siete je zaistenie hygienických podmienok prostredia obyvateľov, ochranu životného prostredia a ochranu majetku predovšetkým miest. Stoková sieť je sústava potrubných rozvodov a ďalších komponentov slúžiacich k odvádzaniu odpadných vôd. Účelom je odvedenie tekutých odpadov pomocou sústavného stokového systému a ich následnou likvidáciou v čističke odpadových vôd. Rýchlosť akou sa odpadné vody pohybujú v stokovej sieti je minimálne $0,5 \text{ m.s}^{-1}$ a maximálne $5 - 10 \text{ m.s}^{-1}$, kde záleží na materiáli potrubia. Aby sa zachovali podmienky pre rýchlosť tečúcej odpadovej vody v stokovej sieti, sú použité rôzne profily potrubia. Stoková sieť musí splňovať bezpodmienečne bezporuchovosť systému. Stoková sieť je iba časť kanalizácie a je všeobecne používané pre stokovú sieť práve označenie „kanalizácia“.

Vo svojej ročnej správe Pražské vodovody a kanalizácie, a.s. za rok 2011 uvádzajú, že v hlavnom meste Praha je napojených na stokovú sieť 1,24 mil. obyvateľov. Celková dĺžka kanalizácie je 3 572 km a dĺžka kanalizačných prípojk 941 km. Počet kanalizačných prípojk činí 115 696. Kanalizačná sieť v Prahe sa väčšinou budovala jednotnou sústavou, iba okrajové časti Prahy majú kanalizačnú sieť delenú. Podľa spôsobu odvádzania odpadových vôd existujú tri sústavy stokových sietí a to sústava jednotná, delená a kombinovaná:

Jednotná stoková sústava odvádza všetky druhy odpadových vôd spoločne jednou stokovou sieťou. Rozhodujúcim pre dimenzovanie takýchto stokových sietí je okamžitý extrémny prietok. Z ekonomických dôvodov sa však celá stoková sieť nedimenzuje na extrémne prietoky zrážkových vôd, ale hospodárnejšie na množstvo menšie, vďaka odľahčovacím komorám, ktoré sa umiestňujú pred čistiarnou odpadových vôd. Tie umožňujú odľahčiť prietok v stoke od určitého množstva zmiešaných odpadných vôd priamo do vodného toku. Týmto opatrením sa docieli hospodárneho návrhu stokovej siete a menšieho zaťaženia čistiarny odpadových vôd. Výhodou jednotnej stokovej sústavy, okrem úspory investičných nákladov oproti sústave delenej, je pozitívny vplyv na vlastný priebeh siete spočívajúci v jej automatickom preplachovaní počas dažďových prietokoch, čo výrazne znižuje nebezpečenstvo zanášania a upchatia stoky. Nevýhodou jednotnej sústavy je, že sa so zrážkovou odpadovou vodou vypúšťa spoločne aj splašková voda so všetkými negatívnymi dopadmi na životné prostredie [4].

Delená stoková sústava znamená, že pre každý druh odpadových vôd je navrhnutá samostatná sieť, takže sa odpadové vody nemiešajú. Splašková poprípade priemyselná odpadová voda je odvádzaná splaškovou sieťou priamo do čističky odpadných vôd. Naopak, zrážková odpadová voda je samostatne odvádzaná zrážkovou kanalizáciou buď priamo do vodného toku alebo do dažďových nádrží. Nedochádza tu ku kontaktu splaškových a priemyselných odpadových vôd so životným prostredím. Nevýhodou oddelených sústav, okrem vyšších investičných nákladov, sú aj výrazne

priestorové nároky, čiže v ulici musia byť súbežne umiestnené dve trasy kanalizácie. U splaškových sietí navyše hrozí zvýšené nebezpečenstvo zanášania. Oddelená sústava sa uplatňuje väčšinou pri odkanalizovaní menších obcí, ďalej je nevyhnutná pri odkanalizovaní priemyselných závodov s produkciou toxických odpadných vôd a zdravotníckych zariadeniach s produkciou infekčných odpadných vôd. V oboch týchto prípadoch je, z dôvodu ekologického a hygienického, celkom nepripustné odvádzať jednou stokou spoločne splaškovú a zrážkovú odpadovú vodu. Zrážkové vody sa odvádzajú vždy gravitačne s voľnou hladinou. Splaškové vody sa u delenej sústavy väčšinou odvádzajú tiež gravitačne, v niektorých prípadoch, pre menšie prietoky, sú navrhnuté tlakové a podtlakové systémy splaškových stôk.

Kombinovaná stoková sústava vzniká prostou kombináciou delenej a jednotnej stokovej sústavy, alebo ako modifikovaná verzia oddelených sústav. Príkladom prvej varianty kombinovanej stokovej sústavy môže byť územie v horných častiach odvodňovaného územia s dostatočným sklonom navrhnutá jednotná sústava a v dolných častiach, v rovinatom území delená sústava. V druhom prípade sú možné rôzne verzie oddelených sústav, ako napríklad riešenie oddelenej sústavy slúžiacej k odvádzaniu iba tzv. neznečistených zrážok vôd zo strechy a z ostatných neznečistených plôch priamo do vodného toku. Ostatné znečistené zrážkové vody ako z ciest, sú odvádzané spoločne so splaškovou sieťou do čističky odpadných vôd.

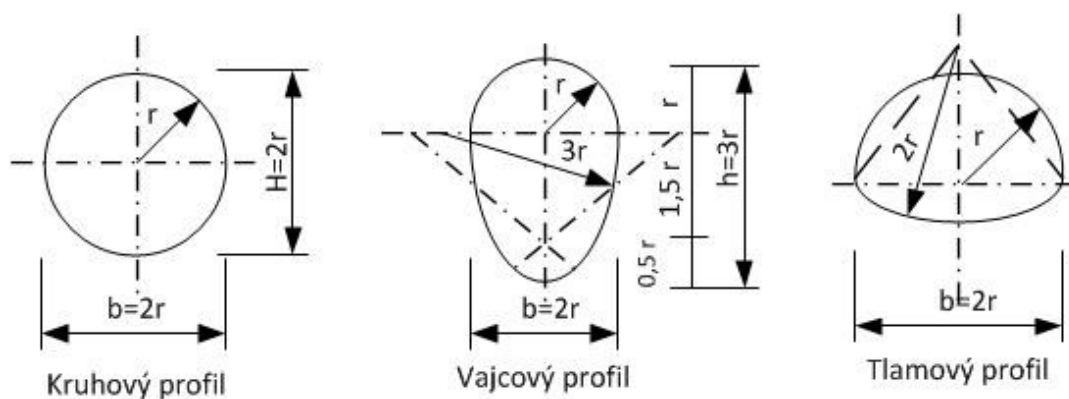
3.1 Tvary a rozmery stok

Pre stoky sa doporučuje prednostne používať tvary stok kruhový, vajcový a tlamový. Voľba tvaru profilu stok závisí predovšetkým na hydraulických, geologických a územných podmienkach staveniska, požiadavkách prevádzkovateľa a ekonomických možnostiach investora. Na obrázku 3.1 sú znázornené základné tvary priečných profilov stok [4]:

Kruhový profil je najrozšírenejším prierezovým profilom stoky. Vyhovuje stredne z hľadiska hydraulických a statických podmienok, veľmi výhodný je z hľadiska konštrukčných a výrobných procesov.

Vajcový profil je najvýhodnejším profilom z hydraulického a statického hľadiska. Nevýhodou je prevýšený profil, ktorý umožňuje použiť tento tvar iba v úsekoch s dostatočnou výškou.

Tlamový profil je najmenej vhodným profilom z hydraulického i statického hľadiska. Používa sa v stiesnených výškových pomeroch a ďalej pre úseky stokových sietí s veľkým trvalým prietokom.



Obrázok 3.1: Základné tvary priečných profilov stok

Podľa prístupnosti vnútorného priestoru stok pre potreby kontroly, údržby a opráv je možno profily stok rozdeliť na:

- neprielezné – ľudom vstup zakázaný, priemer do 80 cm,
- prielezné – priemer od 80 do 150 cm,
- prechodné – priemer nad 150 cm.

Materiál pre stavbu stok sa volí podľa účelu, druhu použitej sústavy, základových a záťažových pomerov staveniska, požadovanej životnosti a samozrejme i podľa tvarovej a rozmerovej ponuky výroby. Nezanedbateľným faktorom pri voľbe materiálu bude iste aj cenová relácia.

Materiál pre stavbu stok by mal splňovať nasledujúce požiadavky [4]:

- vodotesnosť,
- dokonalú odolnosť proti mechanickým, chemickým a biologickým vplyvom dopravovaných odpadových vôd,
- odolnosť proti agresívnemu vplyvu vonkajšieho prostredia,
- požadovanú pevnosť a únosnosť,
- minimálnu drsnosť,
- možnosť jednoduchého a účinného čistenia stok.

V súčasnej dobe je ponuka potrubných materiálov pre kanalizáciu veľmi široká a zahŕňa materiály ako kameninu, betón a železobetón, polymerbetón, plasty (PVC, PP, PE), sklolaminát, tvárna liatina, čadič a ku koncu kombináciu týchto materiálov.

3.2 Nelegálne prípojky

Nelegálne vypúšťanie odpadných vôd do kanalizácie na čierno je v mestách pomerne časté. Pred vstupom do EU bolo hlavným cieľom zaistenie právnych radov EU v oblasti vôd do národnej

legislatívy a to v rámci vodného zákona č. 254/2001 a jeho transpozičné novely č. 20/2004. Po vstupe do EU začalo Ministerstvo poľnohospodárstva naplňovať požiadavky smerníc, predovšetkým smernice Európskeho parlamentu, kde sa stanovujú požiadavky pre činnosť spoločenských v oblasti vodnej politiky, a to spracovanie príslušných plánov povodia s opatreniami k dosiahnutiu dobrého stavu do roku 2015. K 1.1. 2008 skončila platnosť povolenia k vypúšťaniu odpadných vôd do vôd povrchových alebo podzemných. Ďalším dôležitým krokom je implementácia smernice v oblasti ochrany vôd pred znečistením dusičnanmi. Zákon má za cieľ obmedzovať znečistenie a tým vzniká povinnosť správcov a prevádzkovateľov vodných tokov ich sledovať a obmedzovať znečistenie vodných tokov. Vyhľadávajú nelegálne prípojky, hlavne také, ktoré sú pripojené ku kanalizácii na zrážkovú vodu, ktorá nepoužíva čističku vody a je do nej vypúšťaná odpadová voda obrázok 3.2. Tým sa škodlivé látky dostávajú do vodných tokov a to má dopad na životné prostredie.

Druhý prípad je opačný, dažďová voda vteká do splaškovej kanalizácie a dochádza k zriedeniu tým narastá objem vody. Čistička odpadnej vody je dimenzovaná na konkrétny objem vody a počíta sa s konkrétnym množstvom „živín“ pre biologické procesy, následkom masívneho vzrastu objemu vody počas zrážky dôjde k výpadku biologického-chemického procesu čistenia vôd, k navýšeniu spotrebnej energie a vytáženiu čistiare. Z tohto hľadiska sú oba prípady havarijné.



Obrázok 3.2: Napojenie splaškovej prípojky do dažďovej kanalizácie

Od roku 2004, na základe správcov a prevádzkovateľov vodných tokov Pražské vodovody a kanalizácie a.s., monitorujú vyústenia jednotlivých zrážkových kanalizácií, s cieľom odstránenia zdroja znečistenia a to vtoku odpadných vôd do toku povrchových vôd. Firma Veolia do dnešného dňa eviduje celkom 64 zdrojov znečistenia, z toho v 60 prípadoch v správnom riadení s majiteľmi objektov bolo zaistené ich odstránenie. Konkrétne sa jednalo o 576 bytových jednotiek, 10 sídiel firiem a 7 priemyselných areálov. Vzhľadom k počtu prípojok na území hlavného mesta Prahy, sa odhaduje cca 1 % chybovosti pri pripojovaní objektov na kanalizáciu pre verejnú potrebu.

Pokiaľ dôjde k odhaleniu nelegálneho vypúšťania odpadných vôd do povrchových alebo podzemných vôd, ukladá príslušný vodoprávny úrad sankcie. V prípade fyzickej osoby sa sankcie pohybujú vo výške od 1 000 do 50 000 Kč podľa závažnosti prípadu, stupňa ohrozenia životného prostredia alebo zdroja vody a ochoty dotyčného situáciu riešiť. V prípade právnických osôb sú pokuty oveľa vyššie, v najväznejších prípadoch môžu dosiahnuť až výšku 10 mil. Kč [5].

3.3 Vyhľadávanie nelegálnych prípojok

Vyhľadávanie čiernej prípojky na stočné, čiže prípojku na pitnú vodu, nie je až tak zložitá nájsť, pretože väčšina sprostredkovateľov vie, kde im čo tečie. Horšie je to s prípojkou pre splaškovú vodu, ktorá vyúsťuje do zrážkovej kanalizácie. Preto sa budeme venovať čiernym prípojkám odpadových vodách v dažďovej kanalizácii. Vyhľadávanie čiernych prípojok je finančne odmeňované, ale aj náročné. Rýchlosť vyhľadania nelegálnych prípojok v zrážkovej kanalizácii závisí na rôznych faktoroch. Jedným z nich je, ako často dochádza k vypúšťaniu odpadovej vody prípojkou.

Ku kontinuálnemu vypúšťaniu odpadnej vody prípojkou dochádza väčšinou celý čas a je zvyčajne ľahko detekované. Obyčajne produkuje najväčšie množstvo znečisťujúcich látok. K občasnému vypúšťaniu dochádza v priebehu dňa kratšiu dobu, napr. niekoľko hodín za deň alebo niekoľko dní za rok. Pretože k vypúšťaniu dochádza zriedka je ho ťažko odhaliť. Stále predstavuje vysoké riziko znečistenia v závislosti na kvalite vody. Minimálne vypúšťanie býva zriedka, obvykle v závislosti na udalosti, ako je priemyselný únik, pretrhnutie nádrže, hasenie požiaru alebo dopravné nehody. Takéto vypúšťania cez prípojku sú veľmi ťažko zistiteľné. Za vážnych podmienok môžu vzniknúť vážne problémy kvality vody.

Nelegálne vypúšťanie môže byť ďalej klasifikované na základe toho, ako sa vstupuje do zrážkovej kanalizácie. Režim vstupu môže byť priamy alebo nepriamy. Priamy vstup znamená, že vypúšťanie je priamo pripojené ku kanalizácii prípojkou, vstup obvykle produkuje vypúšťanie, ktoré je kontinuálne alebo občasné. Druhý nepriamy vstup znamená, že toky generované mimo stoku vstupujú do kanalizácie prostredníctvom spojov na potrubí kanalizácie [6].

3.3.1 Metódy vyhľadania nelegálnych prípojok

Pre vyhľadanie zdrojov kontaminácie odpadných vôd sa používajú metódy:

1) **Vizuálny prieskum**, čiže pochôdzkou povodia, zrážkovou alebo splaškovou kanalizáciou, sa preskúmajú miesta ako vyústia do vodných tokov, prípojky a vyhľadávajú praskliny na potrubíach. Nevýhodou sú vyžadované znalosti v oboroch ako napr. hydrobiológia, botanika, hydrológia, hydrochémia, hydrogeológia a vodohospodárske stavby.

2) **Dymový test** je technika, ktorou sa zavedie do dažďovej kanalizácie nejedovatý dym a vyhľadávajú sa nelegálne prípojky alebo trhliny a netesnosti v potrubí kanalizácie. Dym vznikne

umiestnením dymovej bombičky do zrážkovej stoky alebo môže byť použitý stroj generujúci dym. Pracovníci by mali byť umiestnení v miestach podozrivých na nelegálnu prípojku alebo s prasklinou na potrubí a sledovať únik dymu. Pred vykonaním tohto testu je nutné vopred informovať majiteľov a obyvateľov v okolí. Vhodné je aj informovať políciu a hasičský zbor. Dym môže spôsobiť človeku mierne podráždenie dýchacích ciest a preto by mal venovať pozornosť, či je bezpečné aby bol prítomný pri testovaní. Pri testovaní dymom sa zvyčajne preskúmava viacero podozrivých miest naraz oproti farbiacej skúške[7].

3) **Prieskum televíznym inšpekčným systémom CCTV** - pre lokalizáciu zdroja znečistenia slúži mobilná videokamera, ktorú je možné riadiť vzdialene. Prostredníctvom kamery sa celý záznam nahráva na videokazetu, DVD alebo na externú pamäť. Zamestnanci sledujú video a zaznamenávajú si všetky nelegálne pripojenia. Pre získanie dôkazov sa ešte nájde zdroje otestujú metódami ako vizuálny prieskum, farbiacou skúškou a iné.

4) **Farbiaca skúška** spočíva vo vyhľadaní prípojky alebo dokázaní o pripojení objektu do stokovej siete. Používa sa nejedovaté farbivo, ktoré sa vleje do záchodu alebo drezu a následne sa vyhľadáva v dažďovej kanalizácii vstupné miesto. Pred vykonaním tohto testu je nutné informovať vlastníkov budov a osôb vopred a získať povolenie na vstup do objektu. Pri vykonávaní testu je potrebných dvoch alebo viacerých zamestnancov. Jedná osoba je vo vnútri budovy a ostatní sú rozdelení na vhodných miestach v kanalizácii. Osoba vo vnútri budovy vleje farbivo do vodovodného odpadu a pustí dostatočné množstvo vody aby sa farbivo dostalo do kanalizácie. Osoby v kanalizácii identifikujú prítomnosť farbiva a označia miesto vstupu do kanalizácie. Farbiaca skúška patrí ako doplnok pri vizuálnej skúške. Test je pomerne rýchly, trvá cca 30 minút [7].

5) **Letecké infračervené a/alebo tepelné fotografie** môžu byť použité k nájdeniu nelegálneho vypúšťaniu odpadových vôd pomocou teploty. Získane vzdušné infračervené alebo tepelné snímky zaznamenajú vzrast teploty pri vypúšťaní odpadnej vody do zrážkovej kanalizácie. Miesto, kde vzrástla teplota sa ešte overí inou metódou. Letecká infračervená a/alebo tepelná technológia je stále vyvíjaná a nie je bežne používaná [7].

6) **Metóda DTS** patrí medzi najnovšie metódy vyhľadávania nelegálnych prípojok. Ako prví prišli s touto metódou na Univerzite v Holandsku, kde bola aj otestovaná. Jedná sa o snímanie teploty pozdĺž optického kábla natiahnutého v zrážkovej kanalizácii pomocou zariadenia DTS. Pri zvýšení teploty v kanalizácii napr. počas vypúšťania odpadovej vody, DTS zariadenie zosníma teplotu a miesto teplotnej zmeny. Tým sa určí miesto kontaminácie. V diplomovej práci sa testuje táto metóda vyhľadávania nelegálnej prípojky a navrhuje software na spracovávanie údajov zo zariadenia DTS.

4 Ramanov rozptyl

Pod pojmom rozptyl rozumieme zmenu šírenia svetla. Svetlo sú elektromagnetické vlny. Aj v tomto prípade sa jedna o rozptyl svetla, ktoré pri pôsobení elektromagnetických vln narazí na prekážku alebo nehomogenitu a zmení svoju dráhu šírenia. Elektrické pole elektromagnetickej vlny, ktorá sa šíri prostredím, pôsobí na elektróny atómov a molekúl. Tieto elektróny vyžarujú sekundárne vlny, tie sa šíria do všetkých smerov a tým sú označované ako rozptyl svetla. Rozptyl svetla sa v homogénnom prostredí nekoná, pretože rovinná svetelná vlna sa šíri v prostredí len v priamom smere, do strán sa nerozptyľuje. V homogénnom prostredí dáva skladanie sekundárnych vln len priamu vlnu za podmienky, že všetky sekundárne zdroje sú rovnaké. Táto podmienka je splnená len pre ideálne homogénne prostredie. V takomto prostredí sa svetlo nerozptyľuje. Rozptyl svetla je podmienený len nehomogenitou prostredia. Pri narušení homogénneho prostredia, málo rozptýlené svetlo predstavuje len malú časť pôvodného zväzku. Vo vysokokvalitnom skle, alebo vo veľmi čistej vode zväzok svetla, ktorý sa takýmto prostredím šíri pri pohľade z boku nevidíme. Ale ak sú vo vode malé bublinky vzduchu, alebo sa v nej nachádzajú malé rozptýlené čiastočky, môžeme pozorovať rozptyl svetla [8].

4.1 Ramanov stimulovaný rozptyl

Najjednoduchší popis stimulovaného Ramanov rozptyl je pomocou kvantovým mechanickým modelom. Okrem kvantového mechanického modelu dokážeme Ramanov stimulovaný rozptyl opísať kľúčovou vlastnosťou tzv. polarizabilita molekúl. Polarizabilita alebo elektrická polarizovateľnosť α , je veľmi dôležitou charakteristikou molekuly, lebo ukazuje, ako ľahko sa dá molekula v elektrickom poli deformovať. Polarizabilita predstavuje spoločne s pôsobiacim elektrickým poľom E , vyvolávanie dipólového momentu μ . Frekvenčne závislý indukovaný dipólový moment molekuly má tvar

$$\mu = a \cdot \vec{E}, \quad (4.1)$$

kde \vec{E} je vektor elektrickej intenzity dopadajúcej monochromatickej vlny o frekvencií ω_1 a a je tenzor polarizovateľnosti molekuly. Vzťah 4.1 je systémom 3 lineárnych rovníc v maticovej formulácii:

$$\begin{pmatrix} \mu_x \\ \mu_y \\ \mu_z \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} a_{xx} & a_{xy} & a_{xz} \\ a_{yx} & a_{yy} & a_{yz} \\ a_{zx} & a_{xy} & a_{zz} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} E_x \\ E_y \\ E_z \end{pmatrix}, \quad (4.2)$$

kde 9 koeficientov A_{ij} predstavuje zložky tenzoru polarizovateľnosti α . V prípade nerezonančného rozptylu je tenzor polarizovateľnosti symetrický, potom má iba šesť nezávislých zložiek.

Intenzita elektrickej komponenty dopadajúceho žiarenia môže byť vyjadrená ako

$$E = E_0 \cdot \cos 2\pi \cdot t \cdot \nu_{vib}, \quad (4.3)$$

kde E_0 je amplitúda a ν_0 je frekvencia dopadajúceho žiarenia. Elektromagnetické žiarenie indukuje premenný dipól o frekvencií ν_0 v molekule. Tento indukovaný dipól je zdrojom žiarenia. Dipólový moment v klasickom priblížení, platí pre molekulu integrujúcu so žiarením:

$$\begin{aligned} \mu = a \cdot E \cdot \cos(2\pi \cdot \nu_0 \cdot t) + \frac{E \cdot r}{2} \left(\frac{\partial a}{\partial r} \right) \cdot \cos(2\pi \cdot t \cdot (\nu_0 + \nu_{vib})) \\ + \cos(2\pi \cdot t \cdot (\nu_0 - \nu_{vib})), \end{aligned} \quad (4.4)$$

kde ν_0 je frekvencia budiaceho žiarenia, ν_{vib} je vibračná frekvencia, r sú vnútorné súradnice molekuly. Z rovnice 4.8 vyplýva, že molekula emituje žiarenie s nezmenenou frekvenciou, prvá časť rovnice ($2\pi \cdot \nu_0 \cdot t$), je Rayleighov rozptyl. Druhá časť rovnice predstavuje samotný Ramanov rozptyl, respektíve jeho Stokesovú časť ($\nu_0 - \nu_{vib}$) a anti-Stokesovú časť ($\nu_0 + \nu_{vib}$). Z tejto časti rovnice je zrejmé, že existencia Ramanovho rozptylu je závislá na zmene polarizability a pri zmene pozície r . Preto je nutné aby pri danom vibračnom pohybe dochádzalo k zmene polarizovateľnosti, teda [9]:

$$\frac{\partial a}{\partial r} \neq 0. \quad (4.5)$$

Ak by zmena polarizovateľnosti počas vibračného pohybu bola nula, zostala by v rovnici nenulový člen iba Rayleighov rozptyl. Príčina vzniku Ramanovho rozptylu je spôsobená interakciou fotónov s molekulami kremenného skla. Intenzita Ramanovho rozptylu je oveľa nižšia ako Rayleighov rozptyl. Pre vznik anti-Stokesovej časti je potrebné aby molekula bola na vyšších vibračných energetických stavov na začiatku procesu.

Na určenie Ramanovho prahu by sme mali uvažovať s nelineárnou interakciou medzi vstupnou vlnou a Stokesovou vlnou. V prípade kontinuálnej je táto interakcia riadená nasledujúcou sústavou rovníc [10]:

$$\frac{\partial I_s}{\partial z} = g \cdot I \cdot I_s - a_s \cdot I_s \quad (4.6)$$

$$\frac{\partial I_p}{\partial z} = \frac{\omega}{\omega_s} \cdot g \cdot I \cdot I_s - a \cdot I \quad (4.7)$$

kde a_s a a zodpovedá za straty vlákna na frekvenciách Stokesových vln. Dá sa jednoducho overiť, že pri vylúčení strát

$$\frac{\partial}{\partial z} \left(\frac{I_s}{\omega_s} + \frac{I}{\omega} \right) = 0. \quad (4.8)$$

Táto rovnica uvádza jedine to, že celkový počet fotónov v čerpacom a Stokesovom lúči zostáva konštantný počas SRS. SRS je prahový jav, ktorý vzniká, ak intenzita čerpacej svetelnej vlny o frekvencií ω dopadajúca na látkové prostredie prevyšuje prahovú hodnotu $I \geq I_{thr}$. Pri splnení tejto podmienky sa Stokesova vlna s frekvenciou $\omega_s = \omega - \omega_M$ exponenciálne zosilňuje pri šírení prostredia. Predpokladajme jej šírenie v kladnom smere osy z , potom

$$I_s = I_{s_0} \cdot \exp(g \cdot I \cdot z), \quad (4.9)$$

kde pre faktor zosilnenia g platí úmernosť

$$g \sim \left(\frac{\partial \sigma}{\partial \Omega} \right). \quad (4.10)$$

Zatiaľ čo intenzita spontánneho Ramanovho rozptylu je v porovnaní s intenzitou budiaceho žiarenia omnoho radov nižšia, stimulované Stokesové (alebo anti-Stokesové) Ramanové žiarenie dosahuje intenzity porovnateľných s intenzitou budiaceho žiarenia. SRS je prahový jav. Prah intenzity budiaceho žiarenia závisí na zisku v Ramanovom médií a na dĺžke oblasti. SRS je dôsledkom interakcií medzi optickým žiarením a vysokofrekvenčnými vibračnými zložkami prostredia vlákna. V skutočnosti SRS sa vytvorí zo spontánneho Ramanovho rozptylu nastavajúcim na celej dĺžke vlákna. L_e je efektívna dĺžka vlákna definovaná Ramanovým ziskom g a stratami vo vlákne a

$$L_e = \frac{1 - e^{-a \cdot g}}{a} \sim \frac{1}{a} \quad (4.11)$$

Stokesov výkon je definovaný s exponenciálnym zosilnením g ako [11]:

$$P_s(L) = P_s(0) \cdot e^{(g \cdot P(0) \cdot L_e / A_e)}, \quad (4.12)$$

kde g vyjadruje účinnosť Ramanovho zisku, $P(0)$ je výkon čerpacej vlny, L_e je efektívna dĺžka vlákna, $P_F(0)$ je výkon signálu a A_e predstavuje efektívny prierez jadra vlákna. Pretože prah pre dopredný stimulovaný Ramanov rozptyl je dosiahnutý skôr danom čerpacom výkone, všeobecne nie je spätný SRS pozorovaný v optických vláknach. Ramanov zisk môže byť použitý v spätne na šíriacich signálov, takže Ramanov prah je zvýšený násobkom čísla, ktorého hodnota leží medzi 1 a 2. Najmä ak je polarizácia kompletne rozhádzaná, zvýši sa o násobok čísla 2 [10].

Napriek rôznym úpravám je možné predpovedať Ramanov prah celkom presne. Pre dlhé vlákna, také že $a \gg 1$, $L_e \approx 1/a$. Na vlnovej dĺžke $\lambda = 1,55 \mu\text{m}$, blízko ktorej je tlmenie vlákna minimálne okolo $0,02 \text{ dB.km}^{-1}$, $L_e \approx 20 \text{ km}$. Pri typickej hodnote $A_e = 50 \mu\text{m}$, predpokladaný Ramanov prah je $P(0) \approx 600 \text{ mW}$. Čo je veľmi mala hodnota pre vznik SRS.

5 DTS

Distribúované snímanie teploty nachádza uplatnenie v mnohých oblastiach: distribúcia elektrickej energie, monitorovanie rastlín, geologické meranie, detekcia požiaru, monitorovanie životného prostredia a stavebný priemysel. Distribúované senzory sú stále atraktívnejšie pre snímanie teploty a odľahčené sledovanie na krátkych, stredných a dlhých vzdialenostiach. Hlavnou výhodou distribuovaných teplotných senzorov v porovnaní s konvenčnými alebo bodovými senzormi je hlavne v ich jedinečnej schopnosti nepretržite a presne sledovať teplotu na dlhé vzdialenosti s vysokým priestorovým rozložením.

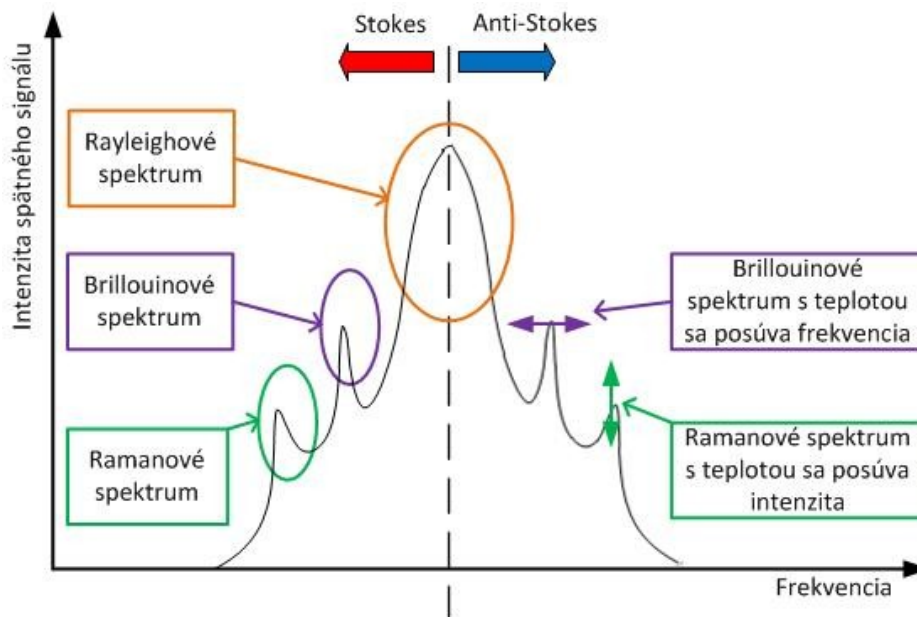
Optické senzory majú niektoré podstatné nevýhody. V prípade distribuované snímanie teploty je dôležité, aby sa predišlo nadmerným vnútorným a vonkajším stratám v optickom vlákne. Vnútorné straty vznikajú z rozptylu a absorpcie v optickom vlákne. Konektory, ohyby a mechanické poškodenie tvoria vonkajšie straty. Nadmerné straty vedú k postupnému zhoršovaniu alebo k úplnej strate signálu vo vlákne.

Distribúované systémy pre snímanie teploty sú optoelektronické zariadenia, ktoré merajú teplotu pomocou optických vlákien, ktoré fungujú ako lineárne senzory. Okrem teploty dokáže DTS merať aj mechanické napätie. Teploty sú zaznamenávané pozdĺž optického senzorického kábla kontinuálne v bodoch. DTS systém si môžeme predstaviť ako niekoľko tisíc senzorov poskytujúcich po spracovaní informácie o teplotnom stave, ktoré optické vlákno ponuka. Medzi tieto výhody patrí [12]:

- Odolnosť voči elektromagnetickému žiareniu.
- Bezpečné použitie v horľavých a výbušných prostrediach.
- Odolnosť voči agresívnym prostrediam.
- Súčasne odčítať niekoľko tisíc nameraných hodnôt.
- Ľahká inštalácia a takmer žiadna údržba.
- Okamžitá lokalizácia zmien teploty, tlaku, poruchy a udalosti.
- Dĺžka optického vlákna až do 10 km.
- Dlhodobé monitorovanie (až 30 rokov).

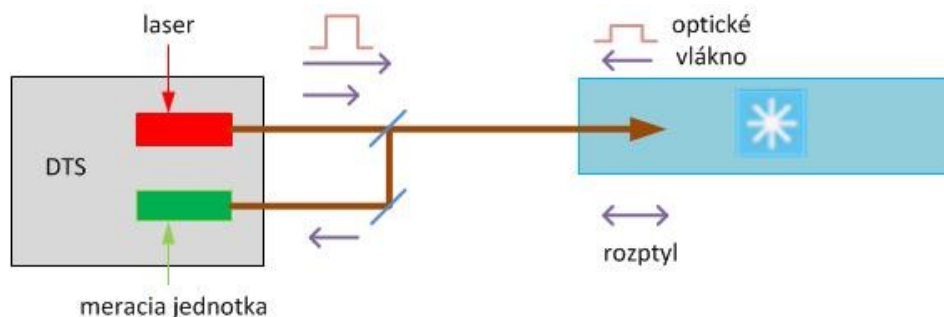
Technologický sú DTS systémy založené na princípe optického reflektometru, tzn. že do vlákna je vyslaný svetelný impulz o vlnovej dĺžke 975, 1064 alebo 1550 nm závisí na konštrukcii zariadenia. Pri prechode optického pulzu vláknom sa jeho časť s vplyvom rozptylu v optickom vlákne vracia späť na detektor systému DTS. Vďaka frekvenčnej a amplitúdovej analýze tejto odrazenej energie dokážeme určiť s veľkou presnosťou teplotné i mechanické namáhanie pozdĺž vlákna. Časť optického pulzu sa vracia k vysielacu s rovnakou vlnovou dĺžkou, akú mal pôvodný vyslaný pulz,

hovorí sa o tzv. elasticom Rayleighovom rozptyle. Iná časť svetelného impulzu sa vracia s odlišnou vlnovou dĺžkou ako pôvodný vyslaný pulz, hovorí sa o tzv. neelastickom rozptyle. Tieto neelastické rozptyly majú za následok nelineárne javy **Ramanov** a **Brillouinov rozptyl** [13]. Pomocou spektier nelineárnych javov dokážeme získať alebo vypočítať meranú veličinu. Spektra jednotlivých a posun nelineárnych javov sú znázornené na obrázku 5.1.



Obrázok 5.1: Spektra a posun rozptýleného žiarenia

DTS systémy sa preto delia podľa konštrukcie a v závislosti na použítom druhu rozptylu, ktorý potrebujú k svojej činnosti. Presnosť merania teploty závisí na integračnej dobe, po ktorú prebieha meranie a na počte iterácií pri výpočtoch. Tieto parametre sú nastavované pred každým meraním a platí, že čím je doba integrácie dlhšia a počet iterácií väčší, tým sú presnejšie získane hodnoty [14]. Priestorové rozlíšenie DTS systému je štandardne 1 m s presnosťou $\pm 1^\circ\text{C}$, pri rozlíšení $0,01^\circ\text{C}$ [15].



Obrázok 5.2: Optická schéma meracieho systému

Priestorové informácie o rozložení teploty pozdĺž optického vlákna sa dosiahnú použitím techniky nazývanej Optical Time Domain Reflectometry OTDR, ktorá je v dnešnej dobe najviac používaná pri detekcii a testovaní optických trás.

5.1 Raman DTS

Radí sa na prvé miesto medzi distribuované senzory snímajúce teplotu pozdĺž celého optického vlákna. Ako u mnoho ďalších optovláknových systémov aj tu sa svieti do optického vlákna a potom sa analyzuje svetlo, ktoré sa vracia späť do meracej jednotky obrázok 5.2. Zaujímá nás chovanie signálu v bočných pásmach, nie signál na rovnakej vlnovej dĺžke akou sa do vlákna svieti. Vzdialenejšie pásma sú označované ako Ramanové pásma, viac popísané v kapitole 4. Porovnanie signálov tzv. Stokesové a Anti-Stokesové zložky dávajú informácie o teplote. Pre optovláknové distribuované systémy využívajúce Ramanov stimulovaný rozptyl v optickom vlákne je najviac dôležitá Anti-Stokesová časť spektra. Mení veľkosť svojej intenzity v závislosti na zmene teploty pozdĺž optického vlákna. Stokesová časť spektra je tepelné nezávislá, preto principiálne DTS systém pracuje na základe zmeny intenzity Anti-Stokesovej časti spektra voči Stokesovej časti spektra a výsledný pomer definuje teplotu v danom mieste. Ak chceme merať teplotu v časti optického vlákna je potrebné získať spektrum Ramanovho rozptylu. I_S predstavuje intenzitu Stokesovej časti Ramanovho rozptylu a I_{AS} intenzitu anti-Stokesovej časti Ramanovho rozptylu, výpočty jednotlivých intenzít sú popísané nižšie vzťahy 5.1 a 5.2. Laser zvyčajne používaný v DTS zariadení má vlnovú dĺžku 1064 nm. Vrcholy Ramanovho spektra sú v tomto prípade posunuté o ± 40 nm, tzn. 1104 nm a 1024 nm. Vzhľadom k tomu, že útlm je závislý na vlnovej dĺžke λ , môže táto zmena zapríčiniť chybnú teplotnú hodnotu pri určovaní [16].

$$I_S(z) = C_S \cdot e^{-a_R \cdot z} \cdot e^{-a_S \cdot z} \langle n_k \rangle, \quad (5.1)$$

$$I_{AS}(z) = C_{AS} \cdot e^{-a_R \cdot z} \cdot e^{-a_{AS} \cdot z} (\langle n_k \rangle + 1), \quad (5.2)$$

kde C_S a C_{AS} sú konštanty a

$$\langle n_k \rangle = \frac{e^{-\frac{\hbar\Omega}{kT(z)}}}{1 - e^{-\frac{\hbar\Omega}{kT(z)}}}, \quad (5.3)$$

kde \hbar je redukovaná Plancková konštanta, k je Boltzmanová konštanta, $2\pi\Omega$ je červený alebo modrý posun frekvencií. Ide o približný vzťah:

$$\frac{\hbar\Omega}{k} \cong 600 \text{ } ^\circ\text{C}. \quad (5.4)$$

Pre systémy distributívneho snímania pomocou optických vlákien založené na Ramanovom stimulovanom rozptyle je práve anti-Stokesová časť najdôležitejšia. Táto časť spektra sa mení v závislosti na teplotnej zmene v súlade s optickým vláknom ako je znázornený posun v anti-Stokesovej časti Ramanovho spektra na obrázku 5.1. Stokesová časť je teplotne nezávislá a preto DTS systému pracujú hlavne na pomere medzi jednotlivými časťami Ramanovho spektra:

$$\frac{I_S(z)}{I_{AS}(z)} = \frac{C_S}{C_{AS}} \cdot e^{-\Delta a \cdot z} \cdot e^{-\frac{\hbar\Omega}{kT(z)}}, \quad (5.5)$$

kde $\Delta a = a_S - a_{AS} > 0$. Pre lasery s vlnovou dĺžkou 1064 nm majú straty hodnotu 0,347 dB.km⁻¹. Zo vzťahu 5.5 môžeme vyjadriť teplotu $T(z)$ vo vzdialenosti z :

$$T(z) = \frac{\frac{\hbar\Omega}{kT(z)}}{\ln\left(\frac{C_S}{C_{AS}}\right) - \Delta a \cdot z - \ln\left(\frac{I_S(z)}{I_{AS}(z)}\right)}. \quad (5.6)$$

Vzťah 5.1 ďalej môžeme rozpísať pomocou mocninových radov:

$$\frac{1}{(1-x)} = 1 + x + x^2 + \dots, \quad (5.7)$$

ak platí, že x má nízke hodnoty:

$$T(z) = \frac{\frac{\hbar\Omega}{kT(z)}}{\ln\left(\frac{C_S}{C_{AS}}\right) - \ln\left(\frac{I_S(z)}{I_{AS}(z)}\right)} \cdot \left\{ 1 + \frac{\Delta a \cdot z}{\ln\left(\frac{C_S}{C_{AS}}\right) - \ln\left(\frac{I_S(z)}{I_{AS}(z)}\right)} \right\}. \quad (5.8)$$

Úpravou vzorca 5.8 získame konečný matematický vzťah opisujúci princíp funkcie DTS systému na základe stimulovaného Ramanovho rozptylu. Nový vzťah je lineárna kombinácia teploty offset (prvá časť rovnice), rozdiel v útlme optického vlákna (druhá časť rovnice) a teploty nameranej na základe pomeru anti-Stokesovej a Stokesovej časti (tretia časť rovnice) [16]:

$$T(z) \cong T_{REF} = \left(1 + \frac{\Delta a \cdot z}{\ln\left(\frac{C_S}{C_{AS}}\right)} + \frac{\ln\left(\frac{I_S(z)}{I_{AS}(z)}\right)}{\ln\left(\frac{C_S}{C_{AS}}\right)} \right), \quad (5.9)$$

kde z vzdialenosť optického vlákna, $T(z)$ teplota vo vzdialenosti z , Δa diferenciálny útlm medzi Stokesovým a anti-Stokesovým spätným Ramanovým rozptylom, I_S je intenzita Stokesovej časti, I_{AS} je intenzita anti-Stokesovej časti, C_S a C_{AS} sú konštanty týkajúce sa citlivosti I_S a I_{AS} na teplotu, a T_{REF} je teplotný offset pre ktorý platí:

$$T_{REF} = \frac{\hbar\Omega}{k \cdot \ln\left(\frac{C_S}{C_{AS}}\right)}. \quad (5.10)$$

6 Meranie v laboratórnych podmienkach a návrh analyzačnej aplikácie

Praktická časť diplomovej práce je zameraná na otestovanie novej metódy tzv. holandská metóda využívajúca optovláknové DTS. Jedná sa o novinku z oblasti problematiky kontaminácie zrážkovej vody v kanalizácii prostredníctvom splaškovej vody. Ide o hľadanie nelegálnych prípojok v oddelenej kanalizácii pre splaškovú a zrážkovú odpadovú vodu. Prípojky, ktoré sú chápané ako nelegálne sú popísané v kapitole 3.2. Nejde len o prípojky, ktoré sú zrealizované bez vedomia majiteľa verejnej kanalizácie a vypúšťajú sa pomocou nej splaškové vody do zrážkovej kanalizácie. Nelegálne prípojky sú aj také, ktoré sú zrealizované podľa štandardu ale do kanalizácie vytekajú odpadové vody, ktoré nie sú určené pre tento druh stokovej siete. Diplomová práca je rozdelená do troch praktických častí v tejto kapitole sú popísané prvé dve časti konkrétne:

- Laboratórne meranie pomocou DTS.
- Návrh aplikácie pre spracovanie údajov z DTS.

6.1 Laboratórne meranie

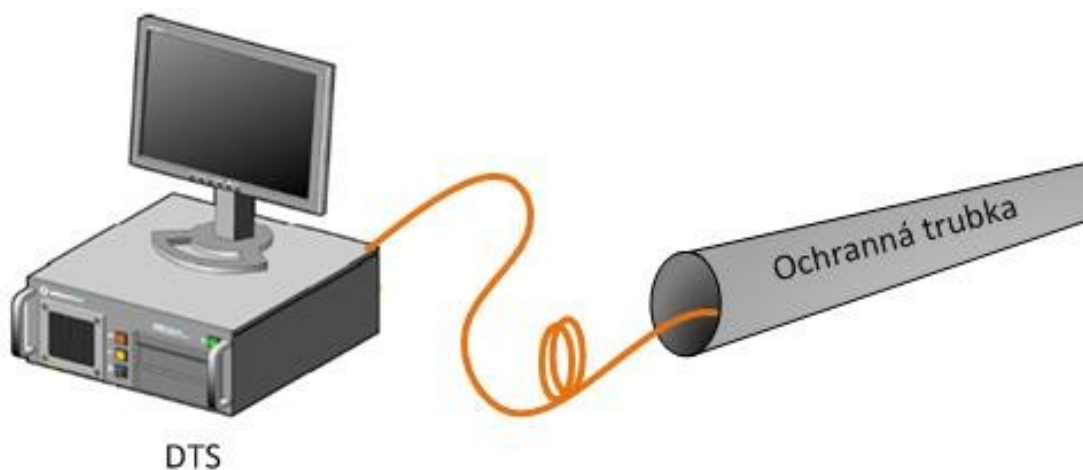
Cieľom prvej časti diplomovej práce bolo zoznámiť sa so zariadením DTS a zrealizovať si merania, ktoré by sa približovali reálnemu meraniu. Na meranie bol použitý multimodový optický kábel s priemerom jadra vlákna 50 μm o dĺžky 160 m a Sentinel DTS zariadenie od SensorNet. SensorNet ponúka množstvo modelov v závislosti na rozsahu merania pozdĺž optického kábla. Špecifikácie DTS modelu LR, ktorý bol použitý na meranie sú uvedené v tabuľke 6.1.

Tabuľka 6.1: Parametre zariadenia Sentinel DTS LR

Parametre	Jednotky	Model LR
Typ vlákna	μm	50/125 MM
Doba merania	S	>10
Rozsah	Km	10
Teplotné rozlíšenie	$^{\circ}\text{C}$	<0,4
Teplotný rozsah	$^{\circ}\text{C}$	-20 do 600
Vzorkovacia perióda	M	0,5
Vlnová dĺžka	Nm	1064
Priemerný výstupný výkon	mW	<1
Frekvencia	kHz	<7
Energia pulzu	μJ	<0,5

Výrobca udáva aj iné modely DTS zariadení, ktoré dokážu pracovať s iným typom vlákna. Mnohovidové vlákno 62,5 μm môže byť použité u zariadení s nižším výkonom. 9/125 μm jednovidové optické vlákno používa DTS model XR. Všetky modely Sentinel DTS používajú lasery triedy 1M. Táto skupina nemôže spôsobiť poškodenie zraku, ale môžu byť nebezpečné, ak užívateľ použije pre sledovanie vnútri zväzku optické prístroje ako napr. mikroskop. 1M je druhá najbezpečnejšia trieda zo siedmich klasifikovaných..

DTS zariadenie Sentinel je dodávané s klávesnicou pripájanou pomocou USB, ktorú je veľmi ľahko odstrániť zo zariadenia aby sa zabránilo poškodeniu dát počas merania. DTS zariadenie podporuje možnosť ukladania nameraných dát na USB disk alebo CD-ROM. Obsahuje aj sieťovú zásuvku pre pripojenie k vonkajšej sieti. Nedoporučuje sa počas merania manipulovať alebo vykonávať nastavenia, pretože by mohlo dôjsť k strate nameraných hodnôt. Na obrázku 6.1 je znázornená typická schéma zapojenia DTS zariadenia.



Obrázok 6.1: Typická schéma zapojenia DTS zariadenia

6.1.1 Konfigurácia DTS zariadenia

Prvým krokom, ktorý je potrebný k meraniu po zapojení je nakonfigurovať zariadenie DTS. Existujú tri možnosti, ktoré sú k dispozícii na výber, a to:

- Načítanie posledného konfiguračného súboru.
- Nastavenie pomocou editoru.
- Nastavenie pomocou konfiguračného sprievodcu.

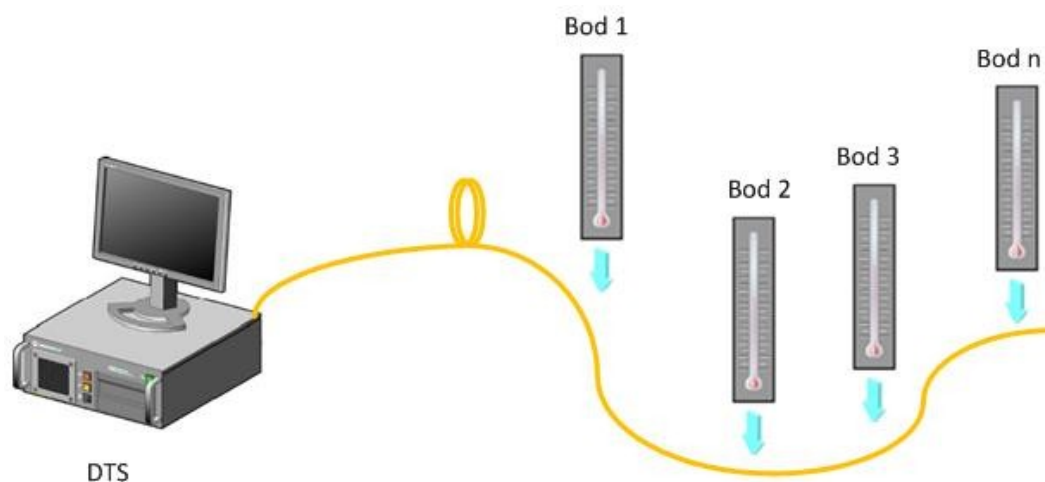
Prvá možnosť otvorí posledný konfiguračný súbor a to umožňuje užívateľovi skontrolovať alebo v prípade potreby zmeniť špecifické nastavenia konfigurácie. Druhý výber umožní nastaviť DTS bez načítania konfiguračného súboru. Táto možnosť je pre pokročilých užívateľov. Posledný výber, nastavenie pomocou konfiguračného sprievodcu, otvorí a spustí sprievodcu konfigurácii. Užívateľ sleduje a nastavuje jednotlivé výzvy na obrazovke. Tá je pre skúsených užívateľov.

V laboratórnom meraní bola použitá posledná konfigurácia, v ktorej boli vykonané zmeny a uložená pod novým názvom. Zoznam prevedených základných nastavení konfigurácií je uvedený v tabuľke 6.2.

Tabuľka 6.2: Základne parametre konfigurácie DTS

Názov parametra	Jednotky	Konfigurácia
Doba snímania	s	10
Dĺžka trasy	m	218
Opakovanie		kontinuálne
Priestorové meranie	m	1
Doba opakovania	s	10

Doba snímania udáva čas ako dlho potrvá meranie teploty pozdĺž celého optického vlákna. Po uplynutí tejto doby vráti DTS zariadenie spriemerované teplotné hodnoty pre stanovenú dĺžku trasy. Opakovací proces môže byť nastavený na kontinuálny alebo podľa počtu cyklov. Priestorové meranie udáva vzdialenosť medzi jednotlivými bodmi snímania na trase ako je to znázornené na obrázku 6.2.



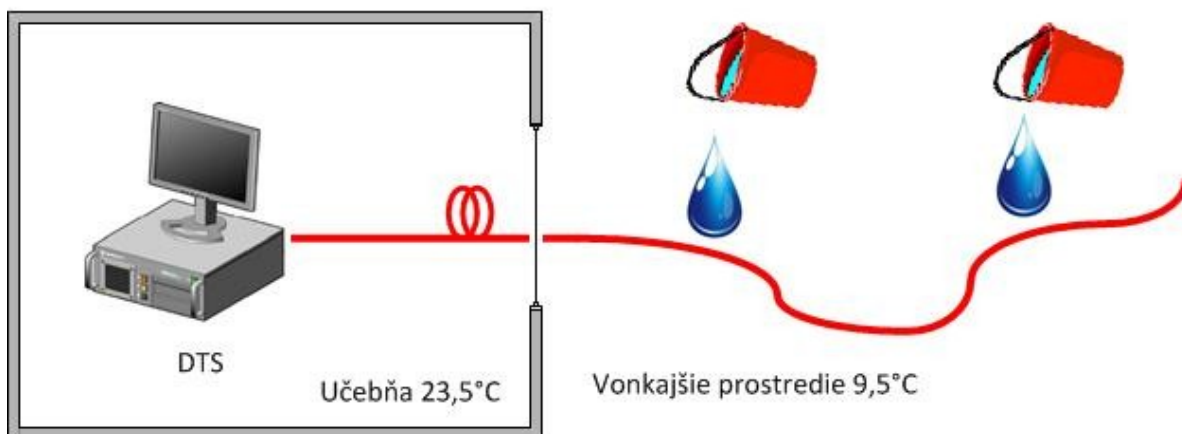
Obrázok 6.2: Charakteristické snímanie teploty zariadením DTS

Doba opakovania udáva celkový časový interval po sebe idúcich meraní snímania teploty zariadením DTS, napr. ak je nastavený čas opakovania na 30 sekúnd a doba snímania na 15 sekúnd. DTS systém vykoná meranie po dobu 15 sekúnd, uloží hodnoty a počká 15 sekúnd do ďalšieho merania. Ďalším základným krokom pri meraní je kalibrácia zariadenia pre správne meranie hodnôt teplotnej veličiny. DTS systém je vopred nakalibrovaný pre použitie najbežnejšieho typu vlákna a to mnohovidového s priemerom jadra 50 μm [14]. V laboratórnom meraní sme používali mnohovidové optické vlákno s parametrami 50/125 μm , čiže zariadenie sa kalibrovať nemuselo.

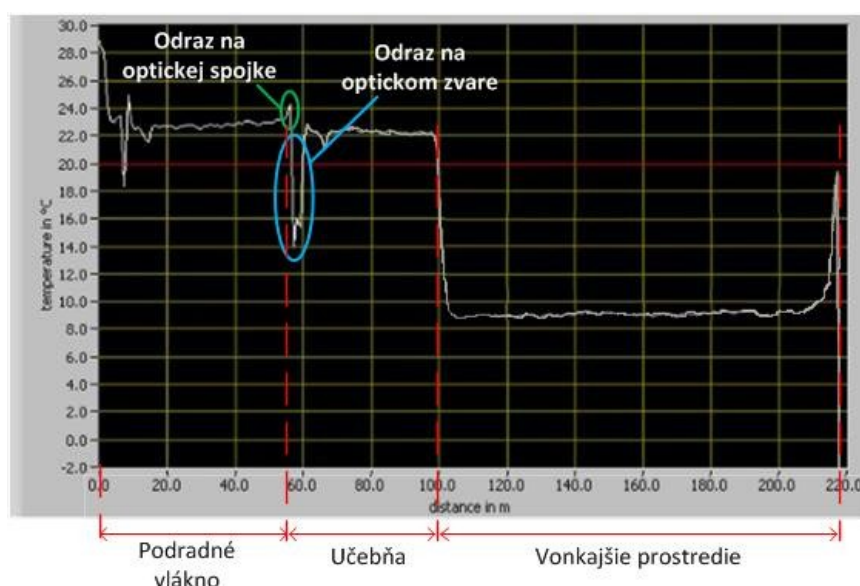
6.1.2 Meranie trasy v laboratórnych podmienkach

Po nakonfigurovaní DTS zariadenia bola zrealizovaná trasa na meranie, ktorá sa približovala reálnym podmienkam v zrážkovej kanalizácii. Teplotné hodnoty v kanalizácii sa menia v závislosti od počasia a ročného obdobia. V lete sa teplota pohybuje približne okolo 15 °C a v zime dosahuje teplota v kanalizácii hodnotu 5 °C. Teplota vzduchu v kanalizácii počas letného obdobia je 17 °C a v zimnom období 3 °C. V dôsledku týchto rozsahov zmien sa očakáva v kanalizácii teplota vody v rozmedzí od 5 °C do 20 °C. Domáce splaškové odpadové vody dosahujú veľmi variabilné teplotné charakteristiky. Viac ako 60 % všetkých použitých úžitkových vôd je zohrievaná v zariadeniach alebo spotrebičoch na to určených a využitá na rôzne účely ako kúpanie, sprchovanie alebo na čistenie predmetov. Teplota vody môže narásť pri ohrievaní na hodnoty 35 °C až 40 °C v sprchách alebo vo vani. Teplotu 30 °C až 90 °C môže voda dosiahnuť v domácich spotrebičoch (práčka, umývačka riadov a podobne). Voda je po použití vypustená do kanalizácie. Kým sa odpadová voda dostane do verejnej kanalizácie putuje domácou kanalizáciou, čím dochádza k zmene teploty, ochladeniu. Do verejnej kanalizácie občas vtekajú splaškové vody, dosahujúcu teplotu vyššiu ako 20 °C, čo je približná teplota vody v zrážkovej kanalizácii v letnom období [17].

Schéma zrealizovanej a premeranej kontaminovanej trasy je znázornená na obrázku 6.3. Optický kábel meral cca 160 m plus 50 m podradný optický kábel, celkom trasa merala 210 m. Optický kábel bolo natiahnutý cez učebňu 50 m a vonkajším prostredím 110 m. Meranie prebiehalo od 8:15 do 10:45. Počasie bolo zamračené neskôr aj slnečno s teplotou v ranných hodinách 9,5 °C a v predobedňajších hodinách teplota dosahovala hodnoty 10,5 °C. DTS zariadenie bolo nakonfigurované podľa parametrov v tabuľke 6.2.



Obrázok 6.3: Schéma meranej trasy v laboratórnych podmienkach



Obrázok 6.4: Namerané data zo zariadenia DTS v čase 8:30

Na obrázku 6.4 je zobrazený graf zo zariadenia DTS s nameranými teplotnými hodnotami na trase v dobe 8:30. Z obrázku vidíme, že teplota v učebni sa pohybovala cca 23 °C a teplota na vonku bola približne 9,5 °C. Na obrázku sú vyznačené miesta s výraznou zmenou teploty na malom úseku. Jedná sa o odrazy na optických spojkách alebo optických zvaroch.

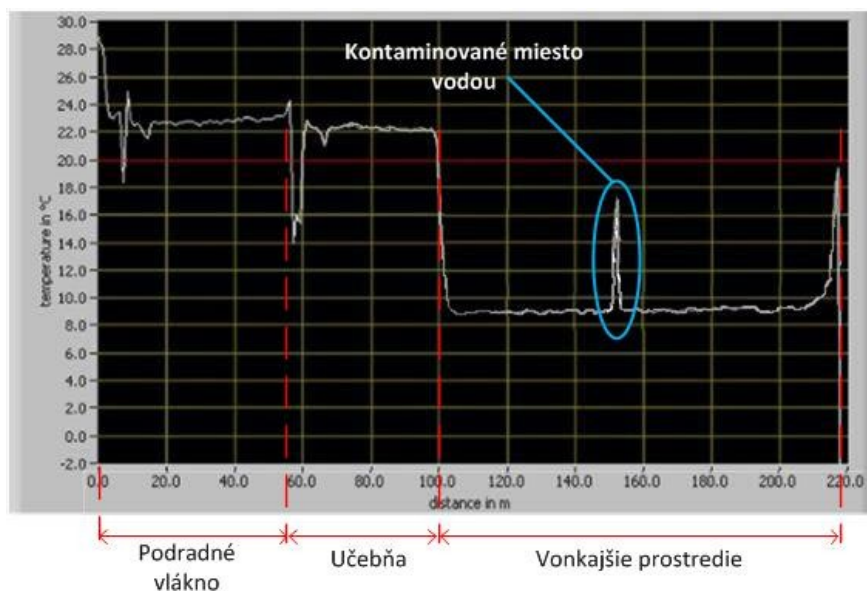
Počas merania bola trasa na vonku vystavená kontaminácii vody, ktorej teplota bola 25 °C. Voda sa nalievala na vlákno z určitej výšky, čím dochádzalo k ochladeniu vody pred dopadom na optický kábel. Voda bola vyliatá na optický kábel na piatich rôznych miestach a v určitý čas. Približné miesta kontaminácie aj s časom a teplotou prostredia zmeranou teplomerom sú uvedené v tabuľke 6.3. Hodnoty v tabuľke sú len informatívneho charakteru, ktoré slúžia len pre overenie správnosti merania zariadenia DTS a pre kontrolné účely s analyzačným softwarom.

Tabuľka 6.3: Kontaminované miesta na trase

Čas	Vzdialenosť	Teplota vonku	Teplota vody
8:55	150 m	9,5 °C	25 °C
9:00	200 m	9,5 °C	25 °C
9:30	160 m	10,5 °C	25 °C
10:00	190 m	10,5 °C	25 °C
10:31	130 m	10,5 °C	25 °C

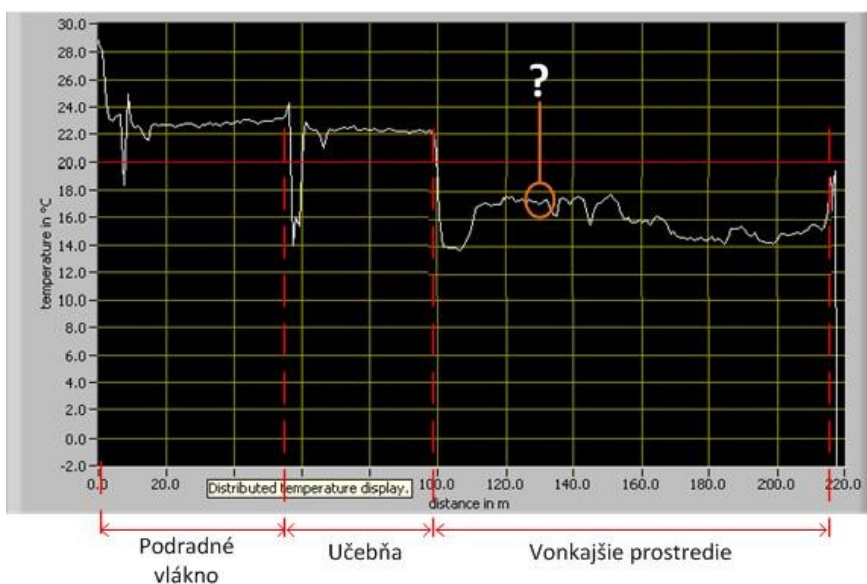
Na obrázku 6.5 je zachytený graf s nameranými informáciami zo zariadenia DTS v čase 8:58, kedy bolo zachytené prvé miesto kontaminácie vo vzdialenosti 152,5 m. Na obrázku vidíme, že teplota dopadajúcej vody na optický kábel má hodnotu 17 °C a teplota vonkajšieho prostredia je 9,5 °C.

Vonkajšia teplota nameraná zariadením DTS sa zhoduje s nameranou teplotou v tom istom čase obyčajným digitálnym teplomerom. Naopak, teplota vody pri nalievaní na optický kábel klesla z 25 °C na 17 °C, táto zmena teploty predstavuje pokles teploty odpadovej vody počas putovania domácou kanalizáciou.



Obrázok 6.5: Zachytené kontaminované miesto zariadením DTS v čase 8:58

Ďalšie zachytené namerané dáta zo zariadenia DTS v čase 10:31 sú zobrazené na obrázku 6.6. V tomto čase bola vystavená trasa ďalšej kontaminácii vody vo vzdialenosti cca 130 m. Podmienky počasia boli v čase 10:31 nestabilné, pretože svietilo slnko.



Obrázok 6.6: Nezachytené kontaminované miesto zariadením DTS v čase 10:31

Ako vidíme na obrázku 6.6, krivka na grafe v časti vonkajšie prostredie neustále klesá a rastie o pár stupňov. Príčinou zmien teploty sú dopadajúce lúče od slnka priamo na optický kábel, ktoré zohrievajú optický kábel na teplotu 17,5 °C. Z grafu na obrázku nedokážeme určiť presné miesto vyliatej vody na optický kábel, ktoré by malo byť vo vzdialenosti 130 m. Teplota vody sa zhoduje alebo približuje hodnote prostredia, tým nedokážeme určiť presné miesto kontaminácie. Takéto nestabilné teplotné hodnoty v kanalizácii spôsobuje dažďová voda, v letnom období počas dažďov.

DTS zariadenie ukladá všetky dáta do súboru .ddf. V súbore sú uložené všetky údaje ako sériové číslo zariadenia DTS, Hardware model, Software verzia, ale hlavne dátum, čas, vzdialenosť jednotlivých bodov a k nim prislúchajúcu nameranú teplotnú hodnotu. V prílohe A je zobrazený súbor .ddf s importovanými dátami zo zariadenia DTS. Všetky namerané hodnoty z laboratórneho merania zo zariadenia DTS sú uložené na CD v zložke /DTS_meranie/lab_DTS_22.11 v súboroch .ddf.

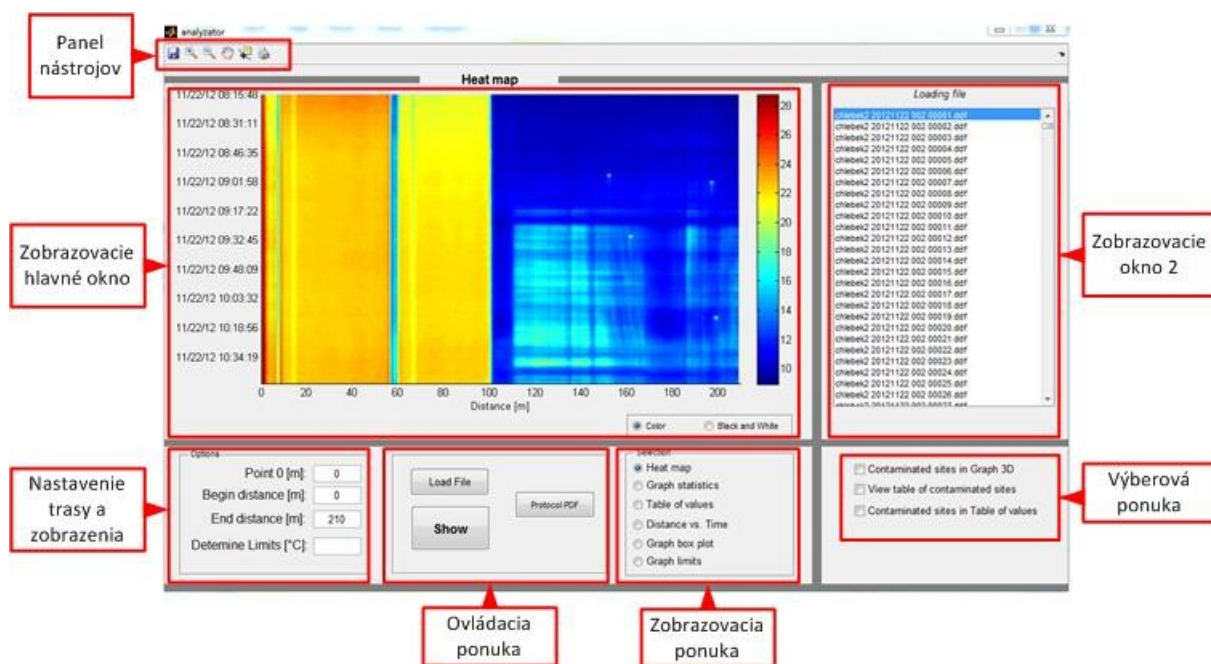
6.2 Analyzačná aplikácia

Po získaní dát zo zariadenia DTS bolo potrebné navrhnuť analyzačnú aplikáciu, ktorá spracováva údaje nameraných hodnôt. Aplikácia je napísaná v programovom prostredí Matlab vo verzií R2012a, pretože Matlab je interaktívne programové prostredie a skriptovací programovací jazyk. Matlab je použiteľný v širokej palete aplikácií určených na matematické účely, modelovanie, návrhy algoritmov, počítačové analýzy, analýzu a prezentáciu dát [18]. Celý matlabovský systém sa skladá z piatich hlavných častí:

- vývojové prostredie,
- knižnica matematických funkcií,
- jazyk,
- grafický systém,
- aplikačné programové rozhranie.

Asi najoceňovanejšou vlastnosťou Matlabu je jeho ľahká rozšíriteľnosť, ktorá nám umožňuje dopĺňať systém o nami napísané funkcie. Nami navrhnutá aplikácia sa skladá zo štyroch súborov. Ide o dva súbory v matlabovskom formáte .m a k nim príslušné súbory .fig. Oba súvisiace súbory majú rovnaké pomenovanie. Pomocou prostredia Guide v Matlabe dokážeme vytvárať a editovať užívateľské rozhranie pomocou základných komponentov. V súbore .fig je uložený vzhľad nami navrhutej GUI aplikácie. Funkčná stránka aplikácie sa ukladá do druhého súboru. Ten má príponu .m a nachádzajú sa v ňom všetky funkcie, ktoré sa starajú o správnu prácu aktívnych prvkov. Ako bolo spomenuté vyššie, nami navrhnutá aplikácia obsahuje dva súbory s príponou .m a dva s .fig. Ide teda o návrh dvoch užívateľských rozhraní. Jedno z užívateľských rozhraní je nadradené. Hodnoty

z nadradeného sa prenášajú do druhého. Všetky súbory navrhutej aplikácie sú uložené na CD v zložke /aplikacia/.



Obrázok 6.7: Hlavné okno aplikácie

Na obrázku 6.7 je zobrazené užívateľské rozhranie pri spustení aplikácií a načítaní dát zo súborov s príponou .ddf.

Úvodná obrazovka sa skladá z niekoľkých častí. Z dvoch zobrazovacích okien, jedno je rozsiahlejšie a zobrazujú sa v ňom grafy a tabuľka, podľa vybranej ponuky. V menšom zobrazovacom okne 2 sa po načítaní dát vypíše zoznam všetkých načítaných súborov, alebo ak sa označí z výberovej ponuky druhá možnosť, čiže zobrazíť tabuľku s kontaminovanými miestami, nahradí sa zoznam načítaných súborov tabuľkou nájdených kontaminovaných miest.

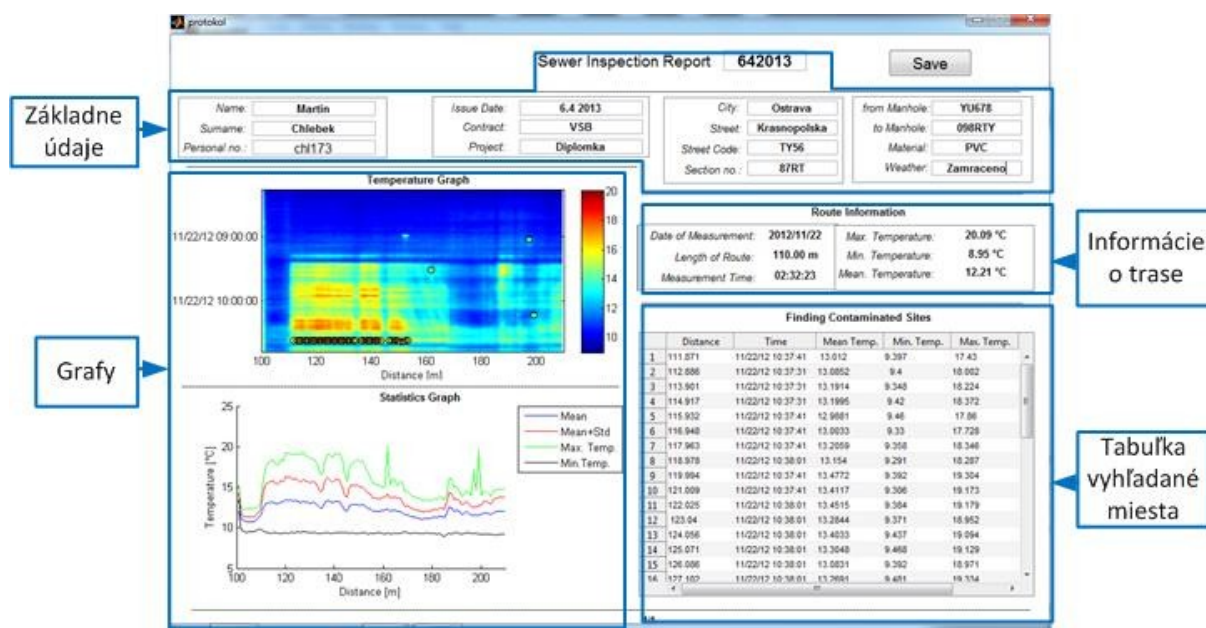
Aplikácia obsahuje praktický panel s nástrojmi. Pomocou týchto nástrojov má užívateľ po ruke základné funkcie programu ako ukladanie, približovanie, oddiaľovanie, posúvanie, údajový kurzor pozície alebo možnosť tlače. Väčšinou sa jedná o nástroje pre manipuláciu s grafmi. Nástroj ukladanie umožňuje vzhľad celej aplikácie uložiť do grafických formátov JPEG, BMP, PNG a PDF.

Prvým krokom pri spustení aplikácií je načítanie dát zo súborov. Umožní nám to tlačidlo Load File v časti ovládacia ponuka. Zobrazí sa interaktívne okno, v ktorom vyberieme súbory, ktoré chceme otvoriť a načítať. Ďalším tlačidlom Show spustíme všetky nakonfigurované funkcie v ktorých sú uvedené potrebné algoritmy a výpočty pre vykreslenie grafov a tabuliek.

Pre získanie a vyhľadanie kontaminovaných miest je potrebné editovať v časti nastavenie trasy a zobrazenie. Ide o hodnoty stanovujúce začiatok a koniec trasy a podmienkovú hodnotu vyhľadávania teplotných hodnôt.

Zobrazovacia ponuka obsahuje možnosť výberu z niekoľkých grafov a z celkovej tabuľky obsahujúcej teplotné hodnoty. Užívateľ môže prehľadávať v grafoch a tabuľke namerané a spracované výsledky aplikáciou.

Výstupom aplikácie môže byť protokol vo formáte .pdf, vyvolaný pomocou tlačidla Protocol PDF. Po stlačení sa zobrazí druhé užívateľské rozhranie zobrazené na obrázku 6.8.



Obrázok 6.8: Hlavné okno protokolu

Ide o hlavné okno protokolu v ktorom sú obsiahnuté základne grafy, údaje o trase, meraní a tabuľka nájdených kontaminovaných miest na meranej trase. Základne údaje ako meno, priezvisko, atď. musí užívateľ vyplniť sám, pre zjednodušenie práce pri ďalšom využívaní. Po vyplnení základných údajov, tlačidlom Save uložíme protokol pod nami zvoleným názvom vo formáte pdf. Výstupný protokol je uložený vo veľkosti papiera A4 orientovaný na šírku.

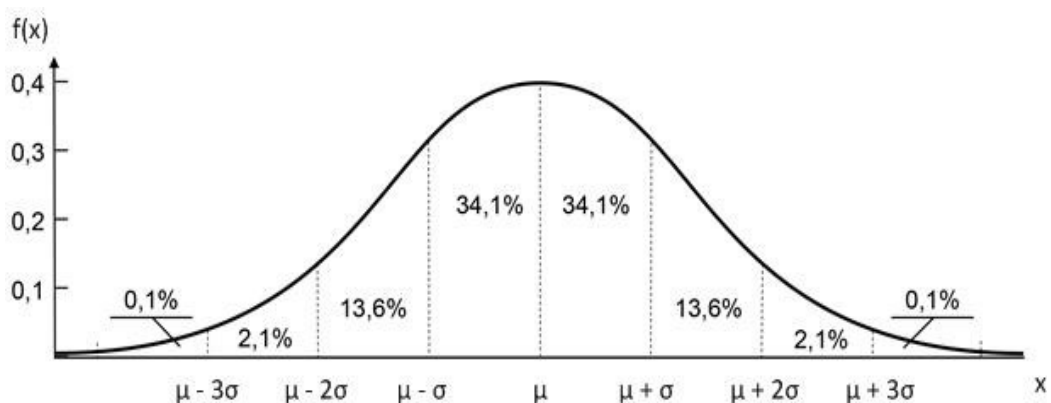
6.2.1 Grafy a vyhľadávanie kontaminovaných miest

Cieľom je vyhľadať kritické hodnoty z nameraných dát a určiť ich pozíciu. Namerané dáta predstavujú maticu \mathbf{A} veľkosti $m \times n$, kde m je počet riadkov a n počet stĺpcov.

$$[\mathbf{A}_{i,j}]_m^n = \begin{bmatrix} a_{11} & \cdots & a_{1n} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ a_{m1} & \cdots & a_{mn} \end{bmatrix} \quad (6.1)$$

Matica $\mathbf{A}_{i,j}$ je naplnená nameranými teplotnými hodnotami, kde j je bod vzdialenosti merania na trase a i predstavuje čas merania. Konkrétny bod $a_{i,j}$ predstavuje nameranú teplotnú hodnotu v čase i a vo vzdialenosti j .

Pre radu javov alebo náhodných veličín je typickým rozloženie možných výsledkov, najčastejšie sa pohybujúcich okolo priemeru, výsledky vzdialenejšie od priemeru sa objavujú zriedkavo. Takéto rozloženie výsledkov vystihuje tzv. normálne rozdelenie. Normálne rozdelenie alebo Gaussovo rozdelenie je základným rozdelením pravdepodobností náhodných veličín.



Obrázok 6.9: Hustota normálneho rozdelenia

Na obrázku 6.9 ja znázornená tzv. hustota normálneho rozdelenia s priemerom alebo strednou hodnotou μ a smerodajná odchýlka σ . Hustota schematicky popisuje, v akých oblastiach osi x je výsledok viacej pravdepodobný a v akých menej. Je zrejmé, že najpravdepodobnejšie sú hodnoty blízko μ . Väčšina hodnôt približne 95 % sa vyskytuje v rozmedzí od $\mu - 2\sigma$ do $\mu + 2\sigma$. Asi 68 % hodnôt sa nachádza medzi $\mu - 1\sigma$ a $\mu + 1\sigma$. Najmenej pravdepodobne sa hodnoty približne 0,2 % nachádza mimo intervalu $\mu - 3\sigma$ do $\mu + 3\sigma$. Smerodajná odchýlka je dôležitá pre praktický odhad rozmiestnenia hodnôt, ide o tzv. pravidlo 3 σ [19].

Vyššie spomenuté pravidlo pre odhad hodnôt je použitý pre rozdelenie nameraných teplotných hodnôt do intervalov s určitou pravdepodobnosťou výskytu. K zobrazeniu výsledkov v aplikácii slúži graf, v ktorom je zobrazená celková priemerná hodnota a jednotlivé pravidlá odhadu pomocou smerodajnej odchýlky. Pre výpočet strednej hodnoty matice je použitý známy vzorec, výpočet aritmetického priemeru:

$$\bar{x} = \frac{1}{mn} \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n a_{ij}. \quad (6.2)$$

V našom prípade môže použiť vyššie spomenutý vzorec pre výpočet priemeru, pretože každé meranie malo rovnaký počet teplotných hodnôt. Inak by sme museli použiť tzv. vážený priemer.

Priemerná hodnota v Matlabe sa počíta pomocou funkcie *mean2*. Nižšie je uvedený zdrojový kód pre výpočet priemernej hodnoty v navrhnujej aplikácii.

```
celkovy_priemer = mean2(teplota());
```

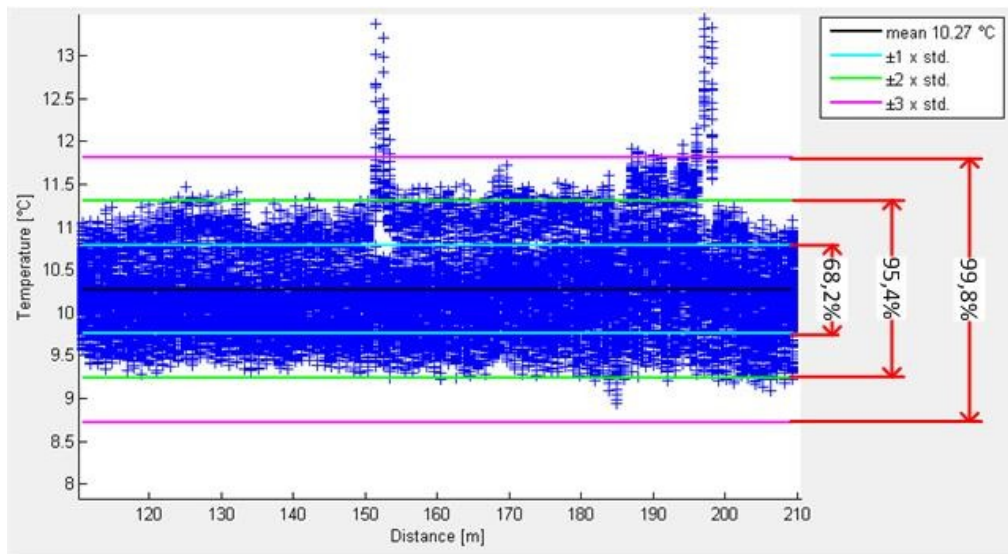
Do premennej *celkovy_priemer* sa uloží celková priemerná hodnota z našej matice. Matica je uložená v premennej *teplota()*. Smerodajná odchýlka je definovaná ako kladná druhá odmocnina z rozptylu. K dispozícii máme úplnú množinu možných stavov a preto smerodajnú odchýlku vypočítame pomocou vzťahu:

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n (a_{ij} - \bar{x})^2}{mn}}. \quad (6.3)$$

Zdrojový kód uvedený nižšie slúži na výpočet smerodajnej odchýlky v Matlabe. Matlab podporuje funkciu s názvom *std2* na výpočet smerodajnej odchýlky v matici.

```
celkovy_smerodajna_ochylka = std2(teplota());
```

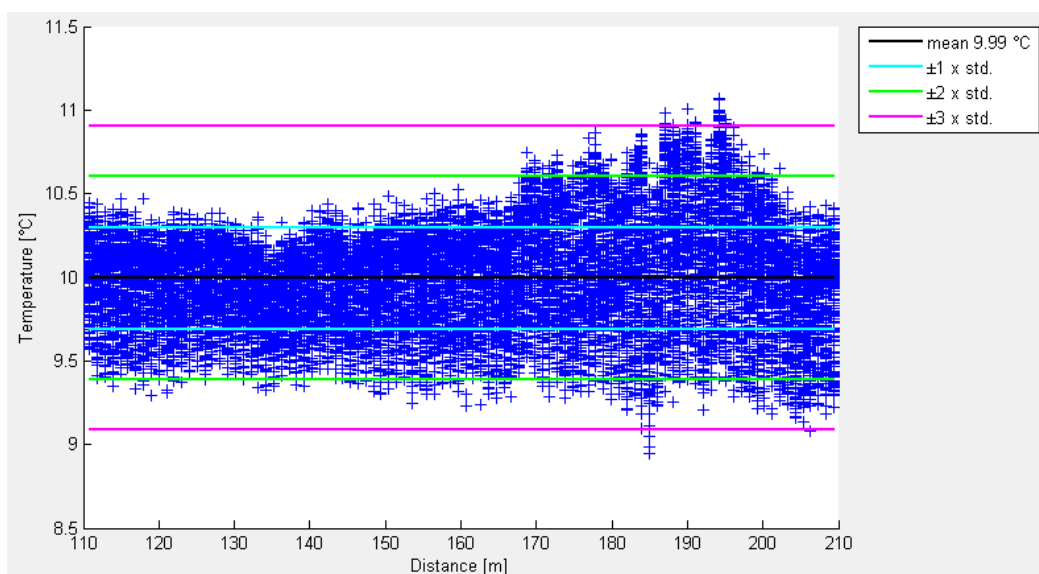
Na obrázku 6.10 sú vykreslené vypočítané intervaly aplikáciou a znázornené jednotlivé body nameraných teplotných hodnôt. V grafe sú dokreslené aj pravdepodobnosti intervalov z obrázka 6.9.



Obrázok 6.10: Intervaly vypočítané aplikáciou

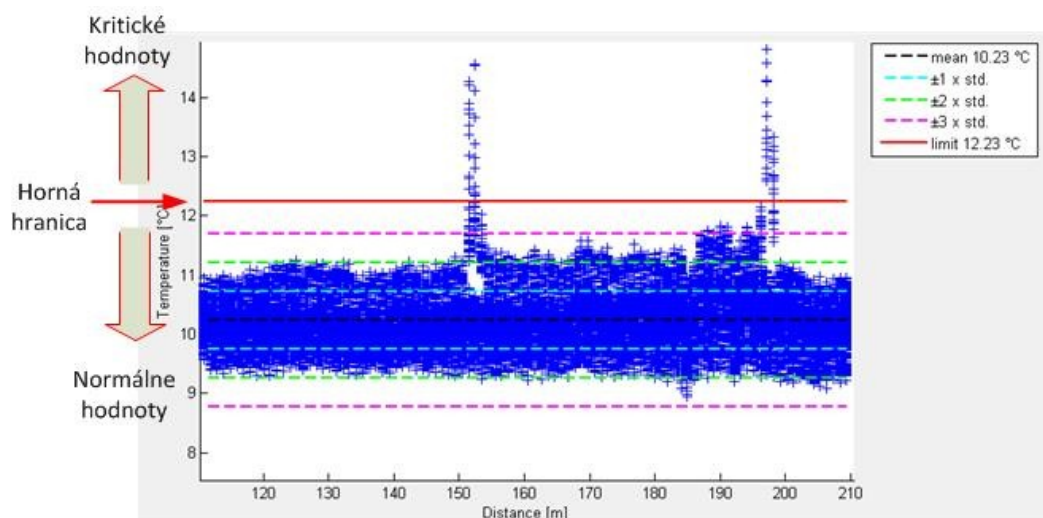
Vidíme, že najviac hodnôt sa pohybuje okolo priemernej hodnoty. Nás však zaujímajú hodnoty, ktoré sa nachádzajú v intervaloch s najnižšou pravdepodobnosťou výskytu. Vo vzdialenostiach približne 158 m a 199 m sa vyskytujú hodnoty mimo intervalu $\mu \pm 3\sigma$. Tieto hodnoty dosahujú vysoké teplotné údaje s nízkou pravdepodobnosťou výskytu oproti ostatným nameraným hodnotám. Môže však nastať aj to, že do oblasti s nízkou pravdepodobnosťou výskytu sa

dostanú hodnoty z množiny, v ktorej sa nenachádzajú žiadne vysoké teplotné údaje ako na obrázku 6.11.



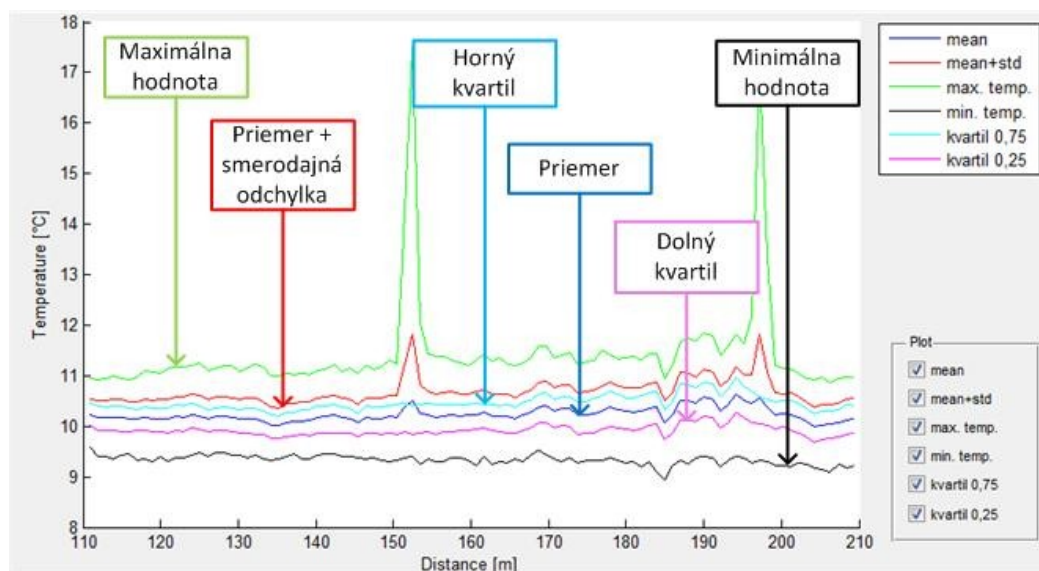
Obrázok 6.11: Rozloženie teplotných hodnôt do intervalov

Pravidlo 3σ užívateľovi slúži k vyhodnoteniu jednotlivých hodnôt a zistiť, ktoré údaje považovať za rizikové. Z toho dôvodu bola navrhnutá metóda vyhľadávania, ktorá spočíva v stanovení konkrétnej teplotnej hodnoty zadanej užívateľom. Táto teplotná hodnota predstavuje hornú hranicu. Teplotné hodnoty, ktoré prekročia definovanú hranicu sú považované za kritické a zaradia sa medzi hľadané kontaminované miesta. Hranica teplotných hodnôt je zložená z celkovej priemernej hodnoty \bar{x} , zo všetkých nameraných teplotných hodnôt a hodnoty definovanej užívateľom y . Na obrázku 6.12 je zobrazená horná hranica teplotných hodnôt definovaná užívateľom, ktorá ich delí na kritické s vysokou hodnotou a normálne hodnoty.



Obrázok 6.12: Rozdelenie hodnôt hornou hranicou

Hodnoty nad hornou hranicou sú hľadané kontaminované miesta. Podobné štatistické údaje ako priemer, smerodajná odchýlka, maximálna a minimálna hodnota, kvartily konkrétne horný 0,75 a dolný 0,25 aplikácia vypočítava pre všetky vzdialenosti. Vypočítané hodnoty sú znázornené na obrázku 6.13 v grafe.



Obrázok 6.13: Štatistické údaje pre jednotlivé vzdialenosti

Užívateľ môže pozorovať jednotlivé vypočítané údaje ako sa prejavujú na jednotlivých vzdialenostiach. Výpočet priemeru a smerodajnej odchýlky sa približne zhoduje so vzťahmi 6.1 a 6.2. Odlišujú sa v sumách, pretože v týchto prípadoch sa nejedná o matice, ale vektory:

$$\bar{x} = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m a_i, \quad (6.4)$$

kde m je počet prvkov vo vektore, ktorý sa rovná počtu riadkov v matici.

Kód pre výpočet priemeru v Matlabe:

```
tep_priemer(i) = mean(teplota(i, :));
```

Výpočet smerodajnej odchýlky všeobecný vzorec:

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^m (a_i - \bar{x})^2}{m}}. \quad (6.5)$$

Kód v Matlabe pre výpočet smerodajnej odchýlky:

```
odchylka(i) = std(teplota(:, i));
```

Matlab podporuje funkcie na vyhľadávanie maximálnych a minimálnych hodnôt z množín, ktoré sa nazývajú max a min. Použitie funkcií max a min v aplikácii je uvedené nižšie:

```
maximum(i) = max(teplota(:,i));
minimum (i)= min (teplota(:,i));
```

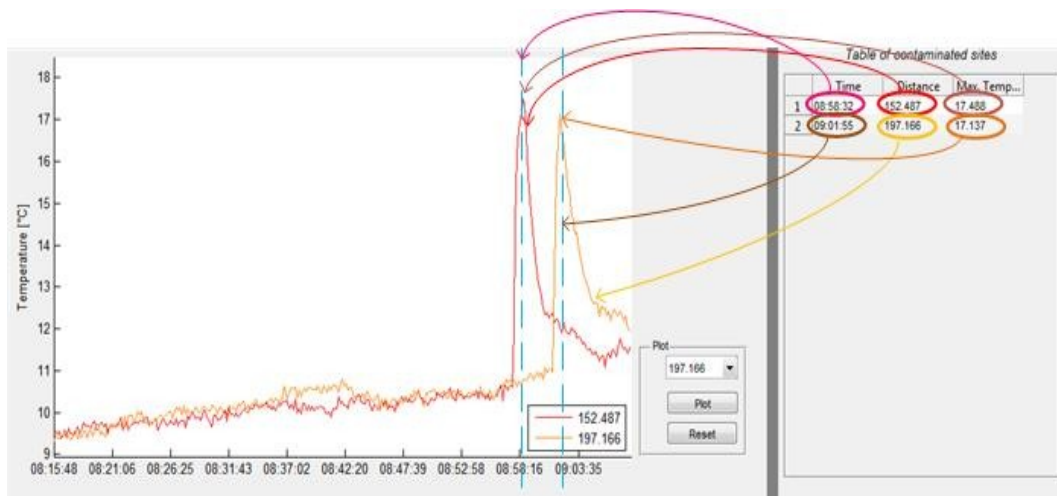
Maximálne a minimálne hodnoty pre jednotlivé vzdialenosti sú uložené do premenných maximum a minimum. Hodnota, ktorá zodpovedá konkrétnej vzdialenosti je uložená na určitom riadku premenných maximum a minimum.

Horný a dolný kvartil delí usporiadaný súbor na niekoľko častí. Dolný kvartil vyberá z usporiadaných hodnôt 0,25 poradí prvok a horný 0,75 poradí prvok. V grafe z vypočítaných kvartilov môžeme sledovať ako sa prejavujú na jednotlivých vzdialenostiach. Zdrojový kód výpočtu kvartilov je zobrazený nižšie:

```
kvar_075 = round(0.75*(m+1));
kvar_025 = round(0.25*(m+1));
zoradit = sort (teplota(:,i));
kvartil_075(i)= zoradit(kvar_075);
kvartil_025(i)= zoradit(kvar_025);
```

Funkcia round zaokrúhli hodnotu na najbližšie celé číslo a do premennej sa uloží číslo poradia prvku z celkového poradia, ktoré je na pozícií 0,25 alebo 0,75. Funkcia sort zoradí vzostupne všetky teplotné hodnoty uložené v premennej teplota() pre konkrétny stĺpec. Hodnoty horného a dolného kvartilu sú prvky zotriedených hodnôt na vypočítaných pozíciách.

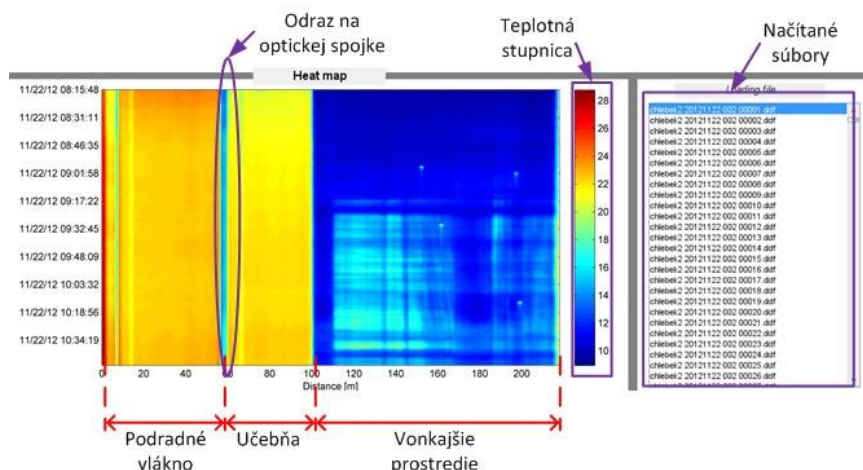
Na obrázku 6.14 je znázornená tabuľka nájdených kontaminovaných miest a graf s jednotlivými vzdialenosťami a im zodpovedné namerané hodnoty v čase. Na x ose sú časové intervaly a na y ose namerané teplotné hodnoty. Pre všetky merané vzdialenosti je možnosť si celú trasu zobraziť do grafu alebo vložiť viacero tras a porovnať.



Obrázok 6.14: Grafy jednotlivých trás s tabuľkou nájdených kontaminovaných miest

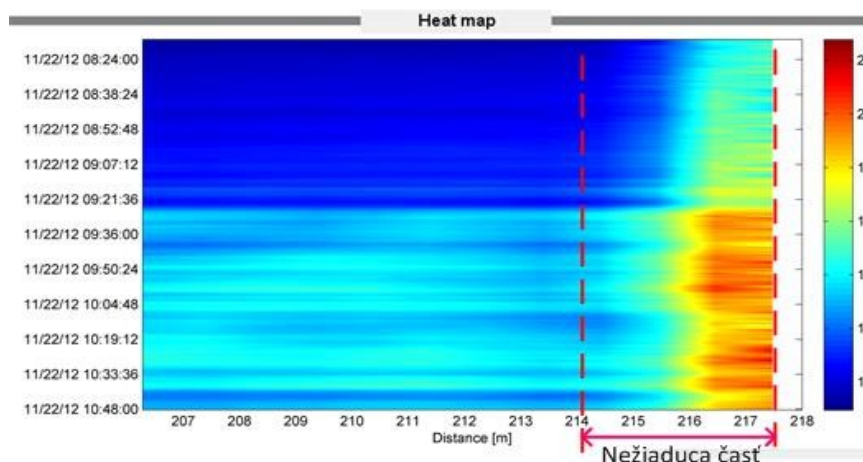
6.3 Vyhodnotenie laboratórneho merania analyzačnou aplikáciou

Navrhnutou aplikáciou vyhodnotíme laboratórne meranie, ktoré je popísané v kapitole 6.1. Výsledky z laboratórneho merania sú uložené v súboroch .ddf, nájdeme ich na CD v zložke /DTS_meranie/lab_DTS_22.11. Všetky súbory načítane pomocou aplikácie a po stlačení tlačidla Show sa zobrazí teplotná mapa. Celková teplotná mapa načítaných súborov laboratórneho merania je zobrazený na obrázku 6.15.



Obrázok 6.15: Celková teplotná mapa laboratórneho merania

Na obrázku sú znázornené jednotlivé úseky meranej trasy. Teplotné rozdiely medzi úsekmi trasy sú farebné odlišiteľné. V spoji medzi podradným vláknom a meraným vláknom je teplotný pokles, ktorý je spôsobený optickou spojkou. Naša meraná trasa začína od začiatku vonkajšieho prostredia čo je približne 110 m. Pre dosiahnutie lepších výsledkov bolo treba nastaviť aj koniec trasy v aplikácii. Ako vidíme na obrázku 6.16, po priblížení konca trasy teplotnej mapy v nežiaducej časti sú hodnoty, ktoré nevhodne prispievajú pri vyhľadávaní kontaminovaných miest a výpočtoch spôsobené Fresnelovými odrazmi.



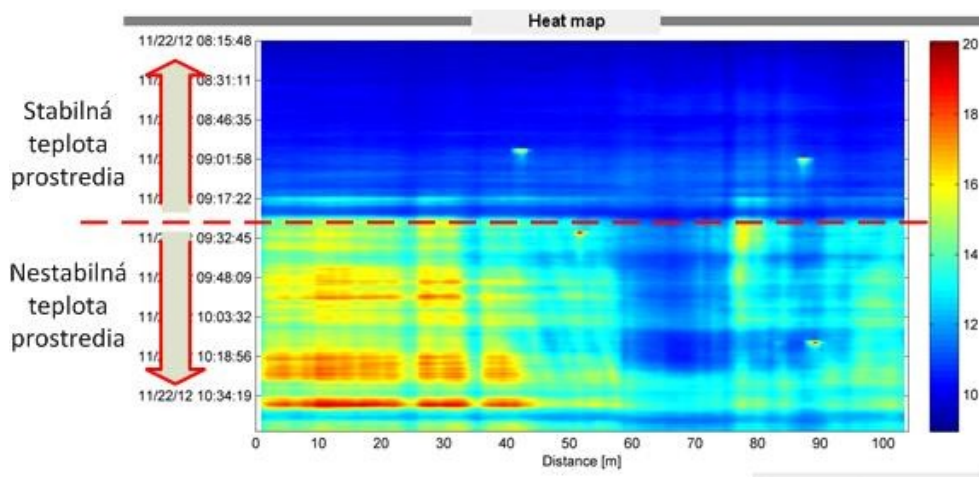
Obrázok 6.16: Nežiaduca časť pri priblížení konca trasy

Parametre nastavenej trasy sú zobrazené na obrázku 6.17. Na tomto obrázku je definovaný nový počiatočný bod 0, ktorý začína vo vzdialenosti od DTS zariadenia 110 m, tým dochádza k novým číselným údajom trasy. Koniec trasy je definovaný vo vzdialenosti 104 m od nového zadaného bodu 0. V skutočnosti je koniec trasy vo vzdialenosti od DTS zariadenia $110\text{ m} + 104\text{ m} = 214\text{ m}$.

Options	
Point 0 [m]:	110
Begin distance [m]:	0
End distance [m]:	104

Obrázok 6.17: Nastavené parametre trasy

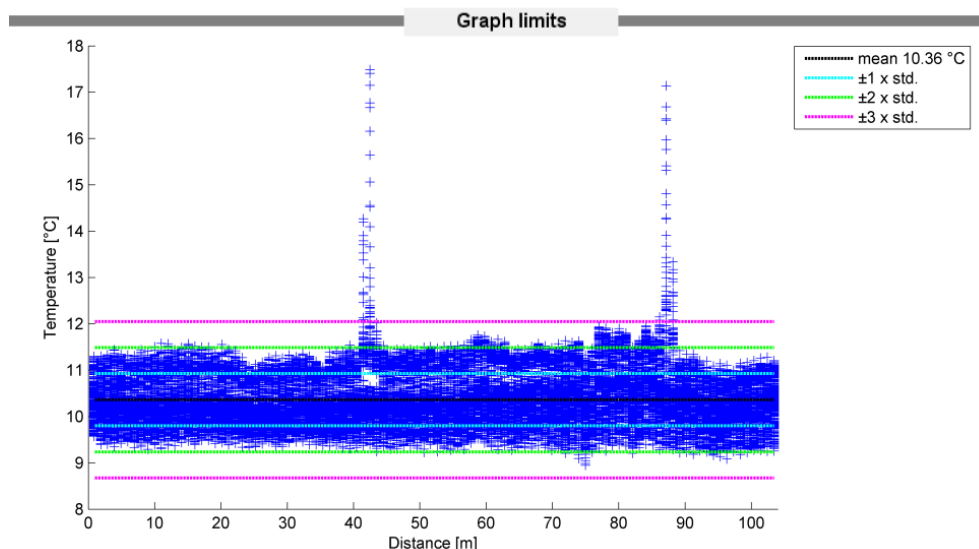
Výsledná teplotná mapa nastavená podľa parametrov z obrázka 6.17 je zobrazená nižšie.



Obrázok 6.18: Teplotná mapa s definovanými parametrami trasy

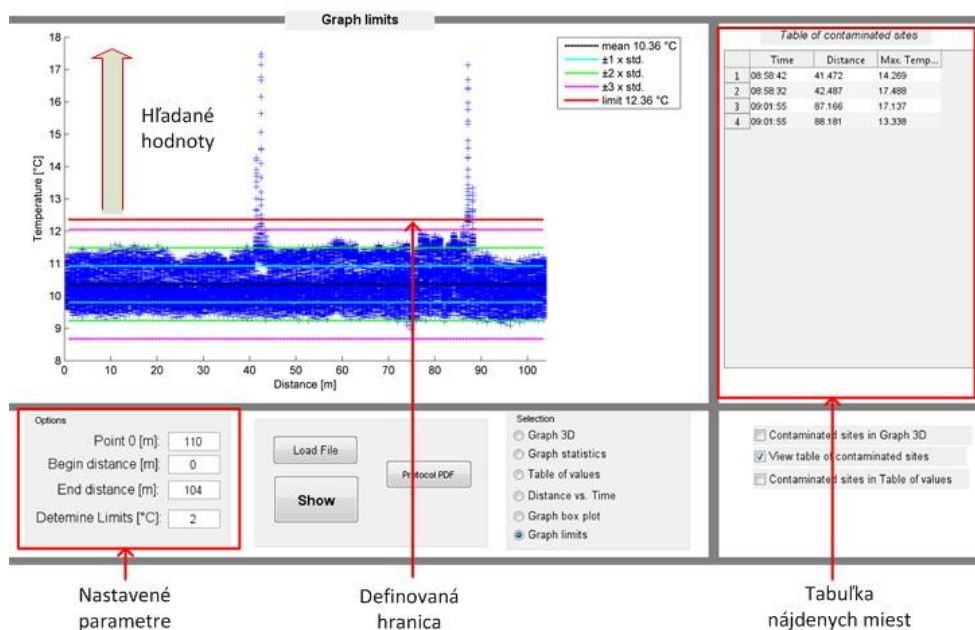
Na obrázku 6.18 je zobrazená teplotná mapa trasy v externom prostredí, kde dochádza ku kontamináciám podľa tabuľky 6.3. Prostredie na vonku bolo premenlivé, čo je vidieť aj z obrázku. Z premenlivého prostredia nedokážeme voľným okom určiť kontaminované miesta laboratórneho merania. Najvhodnejšie podmienky pre získanie kontaminovaných miest sú v časti so stabilnou teplotou prostredia [20]. V časti nestabilnej teploty prostredia je veľmi ťažko vyhľadať kontaminované miesta, pretože takéto miesta “splínú s okolitým prostredím” a nedokáže sa presne identifikovať ich miesto vzniku. Pri nestabilnej teplote dôjde k veľkému množstvu teplotných zmien na rôznych miestach a je veľmi ťažké rozpoznať či ide o miesta s teplotnou zmenou spôsobenou prostredím alebo iným teplotným javom. Naopak je to u stabilnej teploty prostredia, kde je identifikácia zmeny teploty ľahšia. V kanalizáciách býva väčšinou teplota stabilná, výnimkou je obdobie dažďov kedy je teplota v zrážkovej kanalizácii nestabilná. Preto sa zameriame na časť so stabilnou teplotou prostredia. Načítaním aplikácie časť dát získame teplotnú mapu so stabilnou teplotou prostredia, ktorá bola

v časoch merania od 8:15 do 9:15. Podmienku pre vyhľadanie kontaminovaných miest sa stanovuje podľa štatistického grafu s intervalmi pravdepodobnosti výskytu hodnôt vypočítaných aplikáciou.



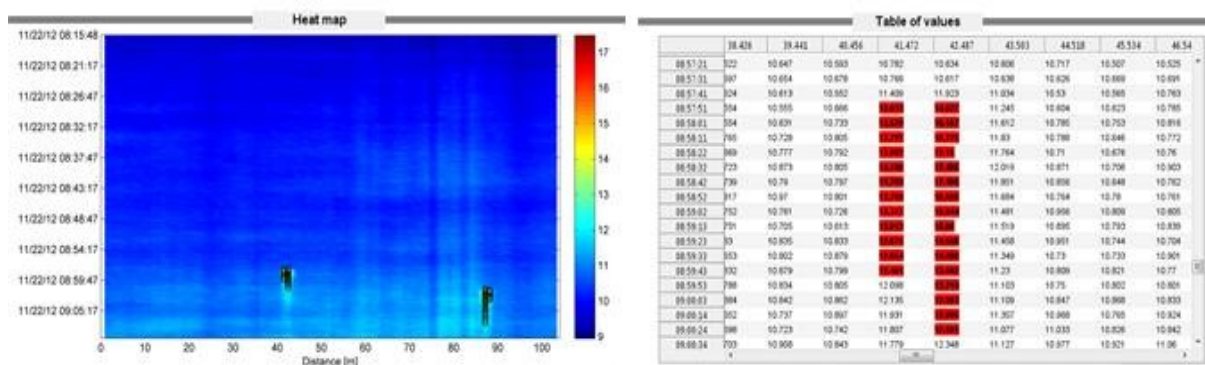
Obrázok 6.19: Graf rozloženia hodnôt v intervaloch

Na obrázku 6.19 je vidieť výskyt teplotných údajov v oblasti s najmenšou pravdepodobnosťou, čiže vysoké teplotné hodnoty, ktoré sa vyskytujú zriedkavo. Podmienka pre vyhľadanie kontaminovaných miest je stanovená na 2 °C. Je to údaj ktorý sa pripočíta k priemernej hodnote a vytvorí hranicu. Hodnoty, ktoré prekročia definovanú hranicu sú vyhľadané kontaminované miesta. Na obrázku 6.20 je zobrazený graf z definovanou hranicou a vyhľadanými teplotami, ktoré majú vyššiu hodnotu ako definovaná hranica.



Obrázok 6.20: Definovaná hranica a tabuľka nájdených kontaminovaných miest

V tabuľke nájdených miest je zobrazený jeden údaj pre konkrétnu dĺžku a to miesto s najvyššou teplotnou hodnotou. Všetky nájdené miesta sú označené v celkovej tabuľke červenou farbou pozadia bunky alebo teplotnej mape čiernymi krúžkami.



Obrázok 6.21: Označené vyhladané miesta a) teplotná mapa b) celková tabuľka hodnôt

Výsledne kontaminované miesta z tabuľky na obrázku 6.20 porovnané s údajmi kontaminácie z tabuľky 6.3 sú zobrazené v tabuľke 6.4. Nájdené kontaminované miesta sú priradené k údajom z laboratórneho merania, ku ktorým sa približujú s hodnotami. Preto je pri niektorých kontaminovaných miestach priradené viacero nájdených miest. Je vidieť, že výsledne hodnoty veľmi presne ukazujú miesto kontaminácie s presnosťou na niekoľko desiatín.

Tabuľka 6.4: Výsledná tabuľka laboratórneho merania

Kontaminované miesta		Nájdené kontaminované miesta		
Čas	Vzdialenosť	Čas	Vzdialenosť	
8:55	150 m	8:58:42	$110 + 41,472 = 151,472$ m	✓
		8:58:32	$110 + 42,487 = 152,487$ m	
9:00	200 m	9:01:55	$110 + 87,166 = 197,166$ m	✓
		9:01:55	$110 + 88,181 = 198,181$ m	
9:30	160 m	Nestabilné prostredie		✗
10:00	190 m	Nestabilné prostredie		✗
10:31	130 m	Nestabilné prostredie		✗

Výsledný protokol vytvorený aplikáciou z laboratórneho merania je zobrazený v prílohe B. V protokole sú zobrazené základne informácie o meranej trase, údaje o meraní, výsledná tabuľka nájdených kontaminovaných miest a grafy. Protokol je uložený na CD v zložke DTS_meranie/protokoly/ pod názvom protokol_lab.pdf.

7 Meranie v reálnych podmienkach

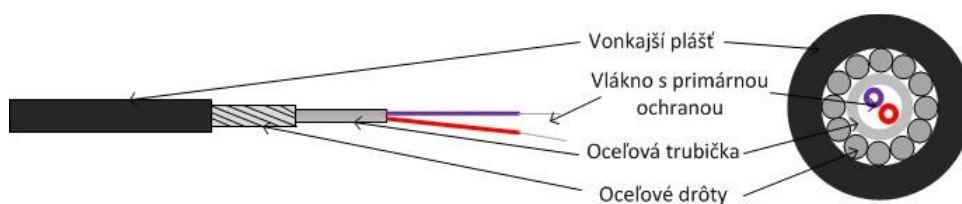
Poslednou, treťou časťou diplomovej práce, bolo otestovať meranie pomocou DTS v reálnych podmienkach a získané hodnoty z merania previesť navrhnutou analyzáčnou aplikáciou. Meranie bolo zrealizované v Prahe 15 na ulici Rezlerová. Jednalo sa o približne 225 m dlhý úsek od vstupnej šachty zrážkovej kanalizácie. Meranie bolo zrealizované pomocou firmy Veolia, ktorá zabezpečila potrebné body k zaisteniu meraného pracoviska. Zamestnancom firmy Veolia sme boli informovaní, že na meranom úseku dochádza k vtoku splaškovej vody do zrážkovej kanalizácií. Našou úlohou bolo zmerať trasu pomocou zariadenia DTS a identifikovať miesto nelegálneho vtoku odpadovej vody do delenej kanalizácie. Celý postup merania bol rozdelený do troch krokov:

- príprava optických káblov,
- natiahnutie optického vlákna do zrážkovej kanalizácie,
- zosnímať trasu zariadením DTS.

Nakoniec získané výsledky zo zariadenia analyzovať pomocou navrhnutej aplikácie za účelom identifikovať miesto kontaminácie.

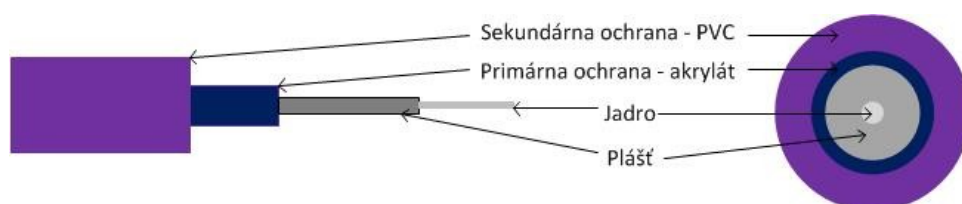
7.1 Príprava optického kábla

K meraniu boli použité dva typy optických káblov. Oba mali priemer jadra vlákna 50 μm , jednalo sa o mnohovidové optické káble. Odlišovali sa štruktúrou sekundárnej ochrany. Na obrázku 7.1 je znázornená štruktúra optického kábla BRUsteel LLK-BST 2F s dvomi mnohovidovými vláknami a voľnou sekundárnou ochranou bez gélu.



Obrázok 7.1: Štruktúra optického kábla BRUsteel LLK-BST 2F

Na obrázku 7.2 je zobrazený druhý typ optického kábla, jedná sa o kábel pre telekomunikačné účely s tesnou sekundárnou ochranou z PVC.



Obrázok 7.2: Štruktúra optického kábla MM Simplex PVC

Tabuľka 7.1: Charakteristiky optických káblov

Typ kábla	Jednotka	BRUsteel LLK-BST 2F	MM Simplex PVC kábel
Max. počet vlákien		2	1
Priemer kábla	mm	3,8	1
Max. ťahová sila	N	1100	350
Tlaková odolnosť	N/m	960	200
Prevádzková	°C	od -40 do 70	od -20 do 50

V tabuľke 7.1 sú uvedené jednotlivé parametre pre optický kábel BRUsteel LLK-BST 2F a MM Simplex PVC. Vidíme, že BRUsteel LLK-BST 2F má vyššie parametre oproti optickému káblu MM Simplex PVC. Je to z toho dôvodu, že optické káble s voľnou sekundárnou ochranou sa prevažne používajú vo vonkajšom prostredí na dlhých trasách. Všetky typy optických káblov s voľnou sekundárnou ochranou používajú ťahové prvky v podobe aramidových alebo sklenených vlákien, ktoré zabraňujú prenášaniu ťahového namáhania na optické vlákno a potom rôzne typy ochrany, ktoré ochraňujú kábel proti hlodavcom, vode, mechanickému poškodeniu a pod. [21]. Optický kábel BRUsteel LLK-BST 2F má zloženú vonkajšiu vrstvu z niekoľkých častí a to z vonkajšieho plášťa z nehorľavého bezhalogeného materiálu FRNC, pod ktorým sa nachádzajú oceľové drôty s oceľovou trubičkou. Optické káble s tesnou sekundárnou ochranou sa používajú vo vnútorných priestoroch, kde nedochádza k takému rizikovému poškodeniu ako u optických káblov používaných vo vonkajšom prostredí. Optický kábel MM Simplex PVC, ako je uvedené už v názve, má sekundárnu ochranu zloženú z PVC materiálu, ktorý nie je až tak pevný oproti materiálom, využívajúcich optických káblov v externom prostredí. V našom meraní boli oba optické káble spojené do série pomocou optickej zväračky a celá trasa premeraná OTDR zariadením. Protokol zo zariadenia OTDR je v prílohe C.

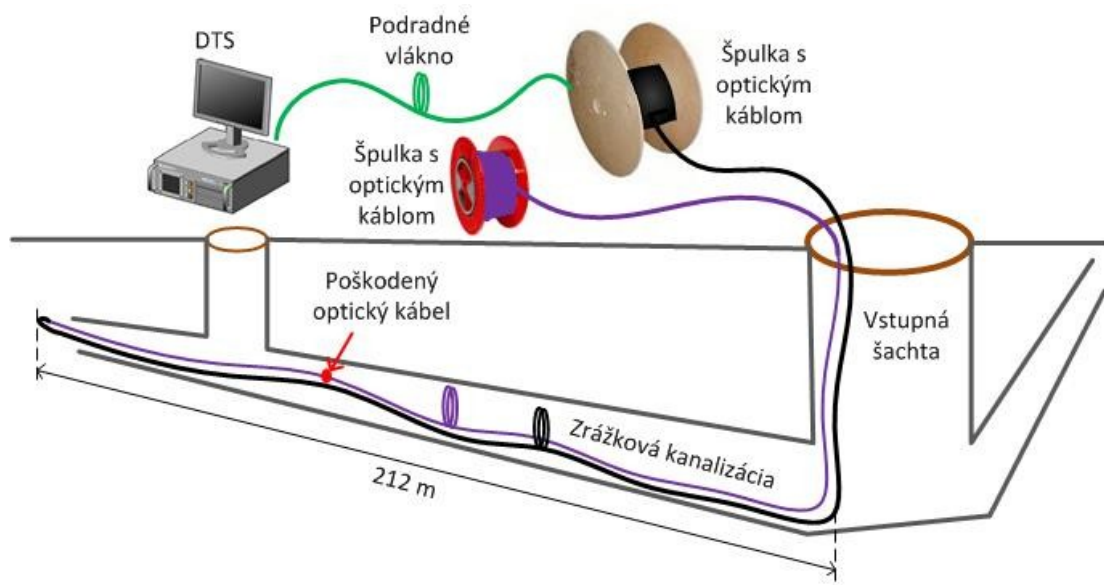


Obrázok 7.3: Spojenie optických káblov a úprava z dôvodu eliminácie strát

Na obrázku 7.3 je zobrazené spojenie optických káblov a spevnenie zvaru proti poškodeniu pri ťahaní v kanalizácií. Celková trasa obidvoch optických káblov má 1,6676 km. Čierny optický kábel, BRUsteel LLK-BST 2F má dĺžku 349,2 m. Vo vzdialenosti 349,2 m môžeme vidieť v grafe protokolu OTDR zariadenia menšie straty na vlnovej dĺžke 850 nm spôsobené makroohybmi pri spevňovaní optického zvaru. Fialové optické vlákno na špulke má dĺžku 1,318 m. Počas merania boli použité obidva optické káble, ktoré súčasne merali rovnakú trasu.

7.2 Natiahnutie optických káblov do zrážkovej kanalizácie

Meranie bolo zrealizované na ulici, vystavenou z väčšej časti bytovými jednotkami. Druhým krokom bolo treba umiestniť optické káble do zrážkovej kanalizácie s priemerom rúry 300 mm . Toho sa ujala firma Veolia, keďže sa jednalo o úzky priestor v kanalizácií natiahli optické káble pomocou kamerového vozíka. Celková schéma zapojenia zrealizovaného merania je zobrazená na obrázku 7.4.



Obrázok 7.4: Schéma zapojenia meranej trasy

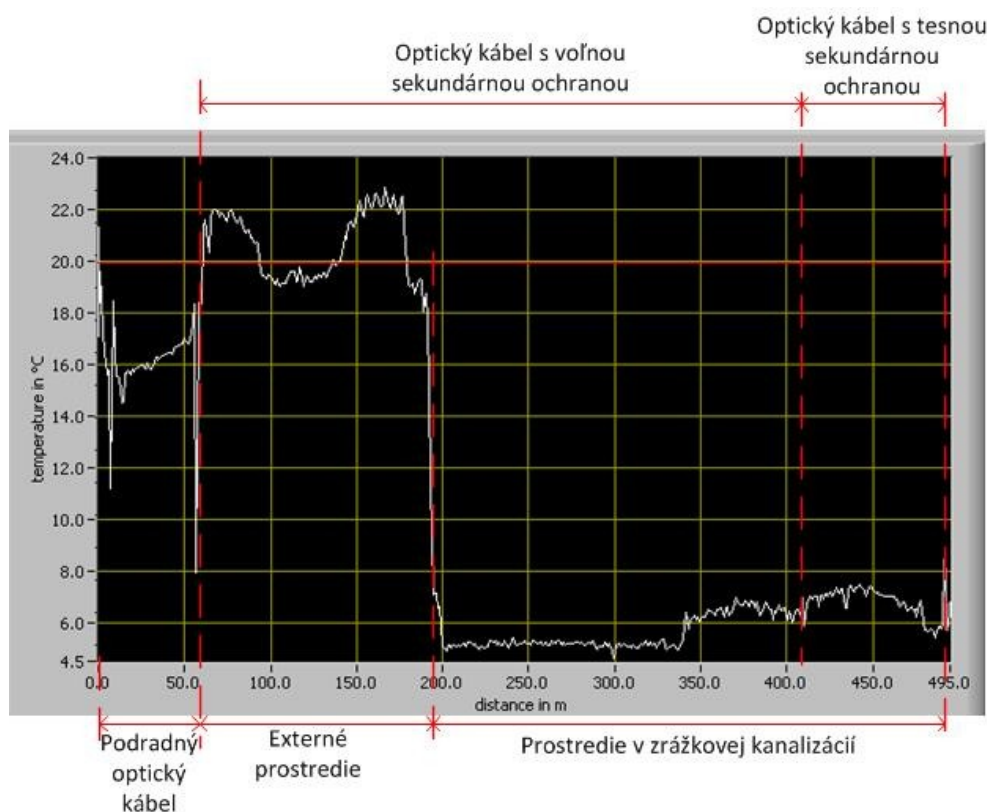
Počas ťahania optických káblov došlo na fialovom kábli k poškodeniu, čím došlo k prerušeniu trasy. Fialové optický kábel má oproti čiernemu optickému káblu slabšiu ochranu a preto nie je určený do extrémnych prostredí. Ide o optický kábel MM Simplex PVC popísaný v kapitole 7.1. Celá trasa bola ešte raz premeraná zariadením OTDR. Výsledný protokol je zobrazený v prílohe D. Po poškodení, obidva káble merali spolu približne 440 m. Po natiahnutí optických káblov na špulke ostalo čierneho optického kábla 125 m. Vstupná šachta mala výšku 6 m. Celková dĺžka meranej zrážkovej kanalizácie bola 212 m. Aby sa zabránilo poškodeniu, zariadenie DTS bolo umiestnené vo vozidle a napájané z elektrocentrály. Počasie bolo slnečné a teploty na vonku dosahovali teploty 25 °C. V zrážkovej kanalizácii tiekla čistá voda zrejme išlo o podpovrchovú vodu. Na obrázku 7.5 je zobrazené vstup optických káblov do zrážkovej stokovej siete cez vstupnú šachtu.



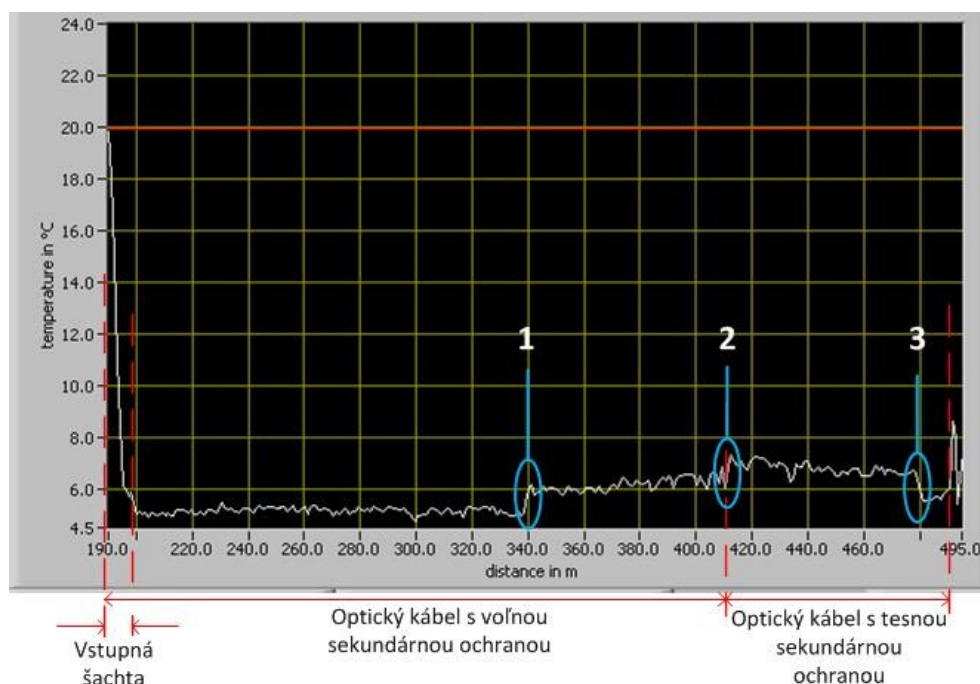
Obrázok 7.5: Vstup optických káblov do zrážkovej kanalizácie

Po úspešnom natiiahnutí optických káblov a zapojení trasy sa zariadenie DTS nakonfigurovalo podľa podobných parametrov ako sú uvedené v tabuľke 6.2 s tým rozdielom, že bola nastavená snímaná dĺžka trasy na 600 m.

Na obrázku 7.6 je zobrazený graf zo zariadenia DTS nameraných teplotných hodnôt celej trasy. V obrázku sú popísané prostredia umiestnenia jednotlivých optických káblov a úseky trasy.



Obrázok 7.6: Graf nameraných teplotných hodnôt celej trasy reálneho merania



Obrázok 7.7: Graf nameraných teplotných hodnôt obidvoch optických káblov v kanalizácii

Na obrázku 7.7 sú zobrazené teplotné hodnoty merané pozdĺž obidvoch optických káblov v zrážkovej kanalizácii. Teplota nameraná zariadením DTS v zrážkovej kanalizácii bola približne 5 °C. V častiach 1, 2 a 3 došlo k teplotným zmenám oproti teplote v kanalizácii o viac ako 1 °C. Oblasť v časti 2 je presne v mieste spoja optických káblov, z toho môžeme vydedukovať, že optické káble snímajú rozdielne teplotné údaje. Táto zmena je popísaná v kapitole 7.4 porovnanie nameraných teplotných hodnôt oboch optických káblov. V častiach označených 1 a 3 dochádza k teplotným zmenám ktoré sú na oboch optických káblov od bodu spojenia približne rovnako vzdialené. Sú to predpokladané miesta kontaminácie. Ako je zobrazené na obrázku 7.4 schémy zapojenia, namerané hodnoty na oboch optických káblov by mali byť zrkadlovo symetrické od miesta spojenia optických káblov. Všetky namerané dáta zariadenia DTS zrealizovaného merania sú uložené na CD v zložke /DTS_meranie/Veolia_kanalizace/Veolia_kanalizace. V prvej zložke Veolia_kanalizace sú uložené aj konfiguračné súbory merania.

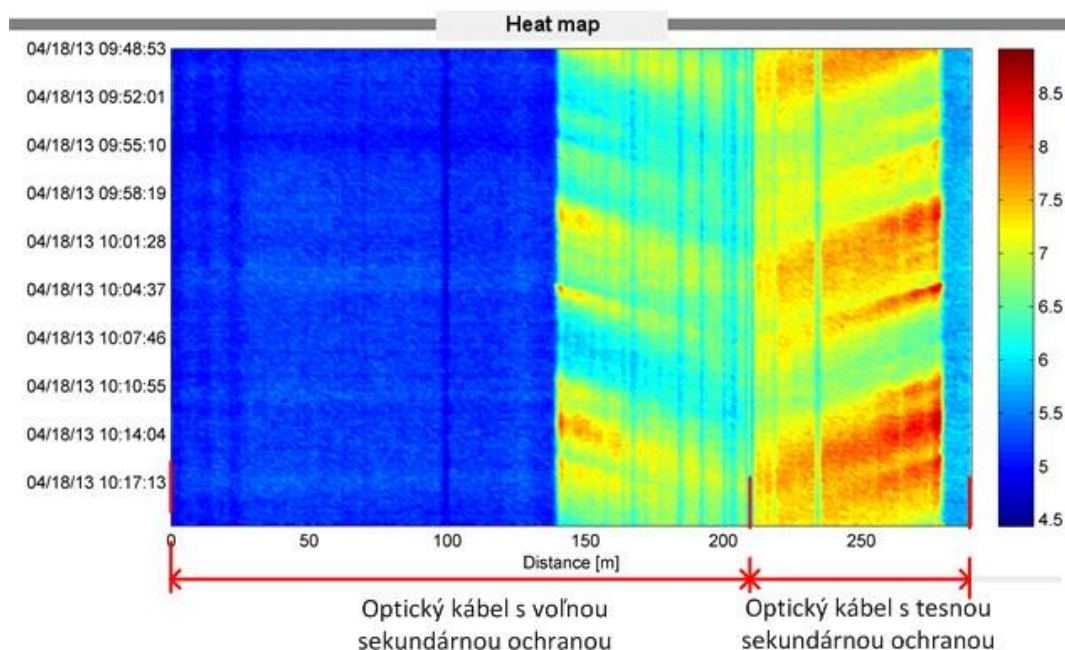
7.3 Vyhodnotenie reálneho merania analyzačnou aplikáciou

Načítaním získaných dát analyzačnou aplikáciou zo zariadenia DTS z merania získame graf teplotnej mapy, ktorý je zobrazený v prílohe E. Ide o celú meranú trasu vo farebnej aj čiernobielej variante bez odstránených úsekov. Pre presnejší výsledný graf je potrebné odstránenie nevhodných úsekov ako podradný optický kábel, optický kábel umiestnený na vonku a vstupnej šachte, teplotné hodnoty namerané na konci trasy zapríčinené Fresnelovými odrazmi. Výsledné nastavené parametre trasy v analyzačnej aplikácii sú zobrazené na obrázku 7.8.

Options	
Point 0 [m]:	200
Begin distance [m]:	0
End distance [m]:	290

Obrázok 7.8: Nastavené parametre trasy

Na obrázku je zobrazený výsledný graf teplotnej mapy meranej trasy v zrážkovej kanalizácii s odstránenými nevhodnými časťami trasy. Na obrázku 7.9 sú označené merané úseky trasy pre konkrétny typ optického kábla. Už pri pohľade na obrázok môžeme identifikovať miesto kontaminácie na obidvoch použitých optických kábloch.

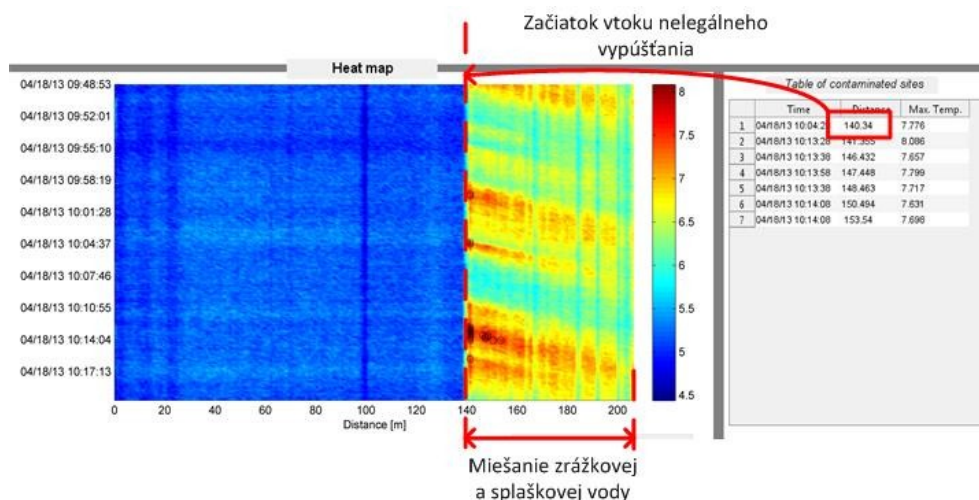


Obrázok 7.9: Teplotná mapa meranej trasy optických káblov

K poškodeniu na optickom kábli s tesnou sekundárnou ochranou došlo na mieste, kde dokážeme optickými káblami identifikovať miesto vtoku odpadovej vody do zrážkovej kanalizácie. Rozdiel bude v tom, že optický kábel s tesnou sekundárnou ochranou snímal teplotou v opačnom smere, čiže od konca trasy. Na vyhľadanie presného miesta kontaminácie použijeme analyzačný software pre každý optický kábel samostatne. Je to z toho dôvodu, aby sa predišlo zlým výsledkom pri výpočtoch analyzačného softwaru, pretože každý optický kábel meria čiastočne odlišné hodnoty na tom istom mieste a v rovnakom čase.

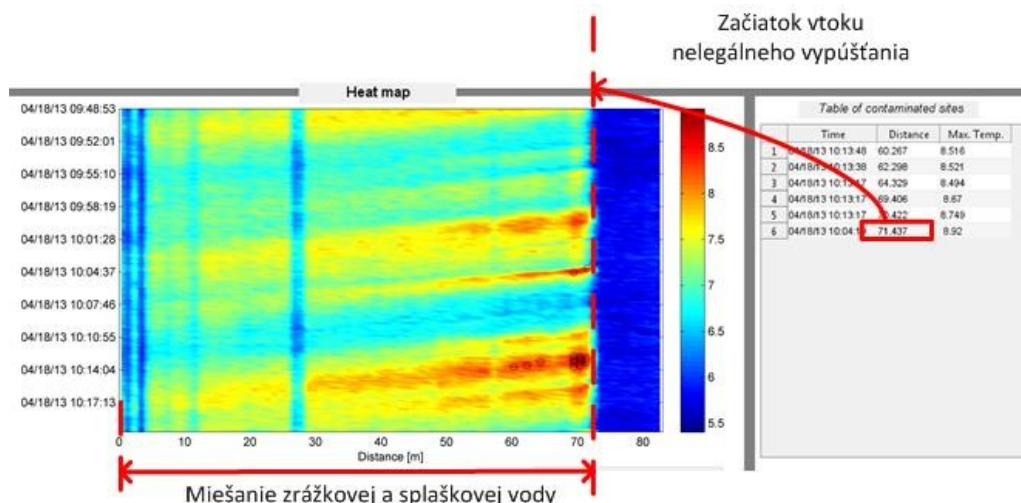
Prvé vyhľadávanie kontaminovaného miesta analyzačnou aplikáciou bolo na optickom kábli s voľnou sekundárnou ochranou. Nastavené parametre boli podobné ako na obrázku 7.8 s rozdielom, že koniec trasy bol nastavený vo vzdialenosti 207 m a tým bol orezaný optický kábel s tesnou sekundárnou ochranou. Podmienka na vyhľadanie kontaminovaného miesta je stanovená na 2 °C.

Výsledné okno aplikácie s grafom je zobrazený v prílohe E. Na obrázku 7.10 je zobrazená teplotná mapa trasy v zrážkovej kanalizácii optického kábla s voľnou sekundárnou ochranou spolu s označeným miestom vtoku splaškovej vody do zrážkovej kanalizácie. Nájdené miesto nelegálneho vtoku je priradené z tabuľky nájdených kontaminovaných miest. Ide o hodnotu 140,34 m na prvej pozícii tabuľky, ostatné nájdené kontaminované miesta sú v úseku kde dochádza k zmiešavaniu zrážkovej vody so splaškovou odpadovou vodou.



Obrázok 7.10: Lokalizácia nelegálneho vypúšťania vo vzdialenosti 140,34 m na optickom kábli s voľnou sekundárnou ochranou

Hľadanie kontaminovaného miesta na druhom optickom kábli s tesnou sekundárnou ochranou prebiehalo podobne ako u vyššie zmieneného postupu. Zadefinovaný nový bod 0 vo vzdialenosti 407 m a koniec trasy 83 m. Celková analyzovaná dĺžka je 83 m, čo je dĺžka optického kábla s tesnou sekundárnou ochranou uloženého v zrážkovej kanalizácii. Podmienka pre vyhľadanie miesta nelegálneho vtoku bola stanovená na 1,5 °C.



Obrázok 7.11: Lokalizácia nelegálneho vypúšťania vo vzdialenosti 71,437 m na optickom kábli s tesnou sekundárnou ochranou

Na obrázku 7.11 je zobrazená teplotná mapa nemeráných hodnôt pozdĺž optického kábla, s tesnou sekundárnou ochranou uloženého v zrážkovej kanalizácii. Celé okno aplikácie, s nastavenými parametrami a tabuľkou nájdených a označených kontaminovaných miest, je zobrazený v prílohe E. Nájdené miesto v toku analyzačnou aplikáciou bolo identifikované vo vzdialenosti 71,437 m od konca meranej trasy.

Pomocou oboch optických káblov bolo možné identifikovať miesto nelegálneho vypúšťania odpadovej vody do zrážkovej kanalizácie. Podľa schémy zapojenia na obrázku 7.4 dokážeme overiť či bolo miesto identifikované obidvoma káblami na rovnakom mieste. Vieme, že meraná dĺžka zrážkovej kanalizácie je 212 m vid' obrázok 7.4, pričom jedným optickým káblom sme dokázali nájsť miesto vtoku od začiatku snímania a druhým od konca snímanej trasy. Sčítaním oboch vzdialeností, nájdených vtokov pre jednotlivé optické káble, by sme mali získať hodnotu zhodnú s dĺžkou meranej trasy kanalizácie, čiže 212 m. Výpočet overenia miesta lokalizácie:

$$140,34 \text{ m} + 71,437 \text{ m} = 211,78 \text{ m}.$$

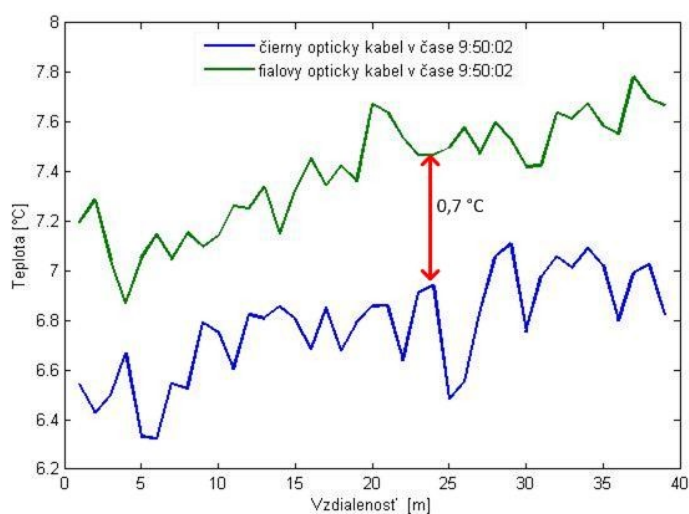
Vidíme, že s obidvoma optickými káblami sme dokázali identifikovať totožné miesto nelegálneho vypúšťania splaškovej vody do zrážkovej kanalizácie. Výsledne protokoly z analyzačnej aplikácie pre použité optické káble sú zobrazené v prílohách F a G. Protokoly sú uložené na CD v zložke DTS_meranie/protokoly/.

7.4 Porovnanie optických káblov použité pri reálnom meraní

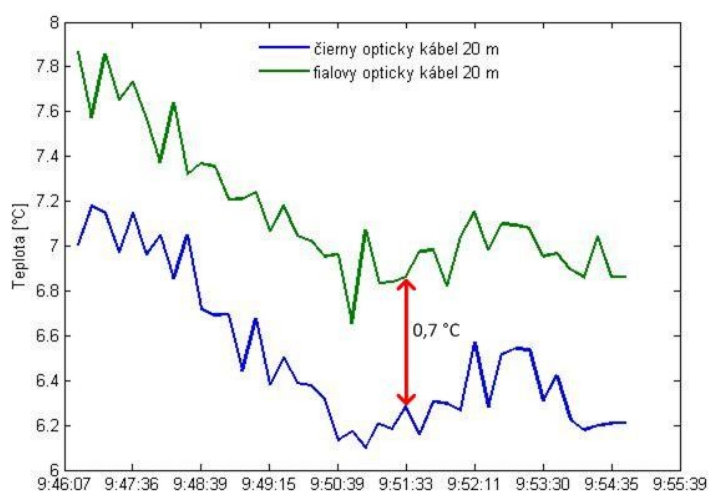
Pri reálnom meraní boli použité dva typy mnohovidových optických káblov s priemerom jadra 50 μm . Jeden bol so silnou štruktúrou sekundárnej ochrany a druhý, obyčajný optický komunikačný kábel. Pre získanie dobrých teplotných hodnôt treba použiť optický kábel s vysokou citlivosťou. Normálny optický komunikačný kábel by bol vhodný na snímanie, ale nie je určený pre použitie v externom prostredí, z dôvodu slabšej ochrany sa na optický kábel prenáša mechanické namáhanie a môže dôjsť k poškodeniu. Ako sme mohli vidieť pri umiestňovaní optických káblov do zrážkovej kanalizácie pri reálnom meraní došlo k poškodeniu optického kábla s tesnou sekundárnou ochranou, so slabšou ochranou. Nová štruktúra kábla s voľnou sekundárnou ochranou zabezpečila lepšiu ochranu optického kábla, pri ktorej nedošlo počas umiestnenia kábla do zrážkovej kanalizácie k poškodeniu.

Parametre oboch optických káblov sú popísane v kapitole 7.1. V tabuľke 7.1 sú uvedené charakteristiky pre oba použité optické káble, pri meraní. K porovnaniu oboch káblov použijeme namerané výsledky z reálneho merania, kde boli použité káble. Zistíme či kábel s lepšou ochranou bude aj rovnako citlivý pri meraní teplotných hodnôt ako normálny komunikačný kábel. Počas merania v reálnych podmienkach boli káble použité súčasne. Získane hodnoty by mali byť zrkadlovo

symetrické od miesta spojenia káblov, čiže od konca trasy ako môžeme vidieť na obrázku 7.4. K porovnaniu nám pomohol navrhnutý analyzačný software, ktorý zobrazuje tabuľku celkových nameraných hodnôt. Z teplotných hodnôt v tabuľke boli vygenerované pomocou Matlabu grafy. K porovnaniu použijeme namerané teplotné hodnoty z úseku, ktorý zosníмали obidva optické káble. Dĺžka použitého úseku k porovnaniu je 40 m. Na obrázku 7.12 je zobrazený graf jednotlivých teplotných hodnôt v čase 9:50:02 nameranými optickými káblami. Na obrázku 7.13 sú zobrazené teplotné hodnoty optických káblov v jednej zvolenej vzdialenosti.



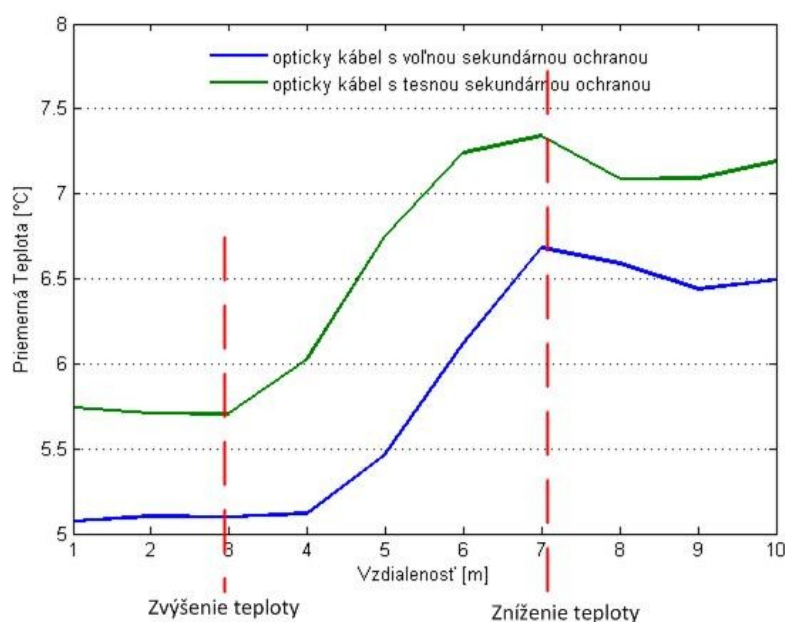
Obrázok 7.12: Namerané teplotné hodnoty optických káblov v čase 9:50:02



Obrázok 7.13: Namerané teplotné hodnoty optických káblov vo vzdialenosti 20 m

Na obrázku 7.12 a obrázku 7.13 môžeme pozorovať teplotný rozdiel medzi oboma optickými káblami. Nameraný teplotný rozdiel medzi optickými káblami je okolo 0,7 °C je to zapríčinené optickým zvarom, ktorý zvyšuje odrazený stimulovaný Ramanov rozptyl.

Na obrázku 7.14 je zobrazený graf s priemernými teplotnými hodnotami pre optické káble. Pre každú meranú dĺžku bol vypočítaný priemer z desiatich nameraných teplotných údajov. Môžeme pozorovať citlivosť snímania teplotných hodnôt optických káblov. Krivky obidvoch optických káblov sú skoro totožné. Pri postupnom zvyšovaní teploty prostredia, čierny optický kábel reaguje na zmenu teploty neskôr oproti optickému vláknu s tesnou sekundárnou ochranou. Tento rozdiel môžeme pozorovať na obrázku 7.14, kde v mieste zvýšenia teploty fialový optický kábel začal reagovať skôr a začal merať vyššie teplotné hodnoty. Pri ochladzovaní prostredia obidva optické káble reagujú na zmenu rovnako. Môžeme to opäť sledovať na oboch krivkách na obrázku 7.14, kde v mieste zníženia teploty obidva optické káble začali reagovať rovnako na zmenu teploty.



Obrázok 7.14: Graf vypočítaných priemerných teplotných hodnôt optických káblov

Citlivosť snímania teplotnej hodnoty pozdĺž čierneho optického kábla s voľnou sekundárnou ochranou je dostačujúca. Čierny optický kábel je rovnako citlivý pri ochladzovaní meraného prostredia ako fialový optický kábel. Na druhej strane je čierny optický kábel menej citlivý na zmenu prostredia pri zvyšovaní teploty. Optický kábel s voľnou sekundárnou ochranou, ktorý bol použitý pri meraní v reálnych podmienkach je podľa údajov určený do prostredia s vysokou teplotou a oceľová trubka s oceľovými lankami vnútri kábla poskytujú vysokú mechanickú odolnosť. Zatiaľ čo polymérový plášť zaručuje ochranu proti korózií. Vhodný do extrémnych podmienok s pevnou štruktúrou ochrany a vykazuje dostačujúcu regeneračnú teplotu skoro podobnú ako optické vlákno s tesnou sekundárnou ochranou. Výrobcovia dokážu dnes vyrobiť optické káble, ktoré dokážu snímať kvalitné hodnoty a zabezpečiť vysokú ochranu optických vlákien.

8 Záver

V diplomovej práci, som sa venoval novej metóde vyhľadávania nelegálnych prípojok v zrážkovej stokovej sieti pomocou optického distribuovaného snímania teploty. Pomocou zariadenia DTS dokážeme snímať teplotné hodnoty pozdĺž celého optického kábla. Zariadenie dokáže kontinuálne merať niekoľko tisíc bodov na optickom kábli vzdialených od seba 1 meter.

V teoretickej časti sa venujem problematike kontaminácie odpadných vôd v zrážkovej kanalizácii. Popisujem jednotlivé druhy odpadných vôd a spôsob ich odvádzania pomocou stokových sietí. Stokové siete sa taktiež delia podľa použitia druhu odpadovej vody. Odpadové vody nielen že znečisťujú životné prostredie, ale aj zhoršujú vzhľad okolitého prostredia. V ďalšej časti diplomovej práce sú popísané metódy, ktoré sa používajú na vyhľadávanie miesta vtoku odpadových vôd do kanalizácie, ktorá nie je určená pre tento druh odpadovej vody.

Praktická časť diplomovej práci je rozdelená do troch častí. V prvej časti realizujem meranie na pripravenej trase v laboratórnych podmienkach. Meraná trasa je vystavená kontaminácií na určitých miestach meranej trasy. V druhej časti, zo získaných dát zariadenia DTS laboratórneho merania, som navrhol analyzačný software, ktorý spracuje namerané údaje. Aplikácia je napísaná v programovacom jazyku Matlab. Analyzačný software načíta dáta zo zariadenia DTS a vykreslí grafy ako napríklad teplotnú mapu snímanej trasy, celkovú tabuľku nameraných hodnôt, graf so štatistickými hodnotami pre konkrétnu vzdialenosť, atď. Označí vyhľadané kontaminované miesta podľa definovanej podmienky. Teplotné hodnoty, ktoré prekročia definovanú podmienku sú považované za kritické a zaradia sa medzi hľadané kontaminované miesta do tabuľky. Navrhnutou aplikáciou boli načítané dáta z laboratórneho merania. Úspešne som identifikoval miesta kontaminácie v časti so statickou teplotou prostredia. V poslednej časti sa venujem overeniu získaných výsledkov v reálnych podmienkach. Konkrétne sa jednalo o meranie v Prahe na ulici Rezlerová. Vďaka firme Veolia som mohol premerať jednu trasu kde dochádzalo k nelegálnemu vtoku odpadovej vody do zrážkovej kanalizácie a identifikovať miesto pomocou navrhnutej aplikácie. K meraniu boli použité dva typy mnohovidových optických káblov s odlišnou štruktúrou sekundárnej ochrany. Do zrážkovej kanalizácie firma Veolia umiestnila oba optické káble. Získane dáta merania, zo zariadenia DTS som opäť načítal navrhnutou aplikáciou a analyzoval údaje pre každý optický kábel samostatne. U oboch optických kábloch som identifikoval miesto nálezu vtoku nelegálneho vypúšťania odpadovej vody do zrážkovej kanalizácie. Nájdene kontaminované miesta sa zhodovali so skutočným miestom vtoku firmou Veolia. V poslednej časti reálneho merania je porovnanie použitých optických káblov pri meraní. Obidva káble boli mnohovidové s priemerom jadra 50 μm , odlišovali sa len štruktúrou sekundárnej ochrany. Jeden kábel používal voľnú sekundárnu ochranu s oceľovou trubkou spolu s oceľovými drôťmi a polymérovým plášťom, vhodný do extrémnych prostredí s vysokou teplotou.

Druhý optický kábel bol obyčajný komunikačný v ktorom bolo vlákno s tesnou sekundárnou ochranou z materiálu PVC. Vhodnejším adeptom na meranie teplotných hodnôt v kanalizácií sa stal optický kábel s voľnou sekundárnou ochranou, aj keď druhej strane nebol taký citlivý pri zvýšenej teplotnej zmene prostredia.

Úspešne som identifikoval kontaminované miesta v laboratórnom meraní tak aj v reálnom meraní pomocou navrhutej analyzačnej aplikácie. Distribuované snímanie teploty má uplatnenie pri lokalizáciách kontaminácií odpadných vôd. Dokáže kontinuálne snímať teplotné údaje v kanalizácií, do pár sekúnd identifikovať miesto kontaminácie, dokáže snímať veľmi dlhé trasy. Na druhej strane zrážky ovplyvňujú výsledky nameraných hodnôt a tým spôsobujú zlú identifikáciu kontaminovaného miesta. Optické káble, ktoré sa používajú na snímanie teplotných hodnôt sú dnes veľmi kvalitné. Výrobcovia dokážu vyrobiť optické káble do extrémnych prostredí s vysokou teplotou a odolných mechanickému namáhaniu, ktoré dokážu veľmi dobre snímať teplotné hodnoty.

Použitá literatura

- [1] Člověk a odpadní voda - I. část. [Http://etext.czu.cz/](http://etext.czu.cz/) [online]. [cit. 2013-04-01]. Dostupné z: http://etext.czu.cz/php/skripta/kapitola.php?titul_key=64&idkapitola=129
- [2] ISSaR: Informační systém statistiky a reportingu. [Http:// issar.cenia.cz /](http://issar.cenia.cz/) [online]. [cit. 2013-04-26]. Dostupné z: <http://issar.cenia.cz/issar/page.php?id=178>
- [3] Stokování. [online]. [cit. 2013-04-26]. Dostupné z: http://hydraulika.fsv.cvut.cz/Vin/ke_stazeni/Stokovani.pdf
- [4] CHEJNOVSKÝ, Pavel.: Kanalizace – stokové sítě. vydání první. Líbeznice: Medim, spol. s r. o., 2007. ISBN 978-80-87140-05-5.
- [5] Zákon č. 254/2001 Sb., o vodách a o změně některých zákonů (vodní zákon), ve znění pozdějších předpisů
- [6] CENTER FOR WATERSHED PROTECTION. Illicit Discharge Detection and Elimination: A Guidance Manual for Program Development and Technical Assessments: A Guidance Manual for Program Development and Technical Assessments [online]. 2004 [cit. 2013-04-26]. EPA Cooperative Agreement X-82907801-0. Dostupné z: <http://www.epa.gov/npdes/pubs/iddmanualwithappendices.pdf>
- [7] NEW ENGLAND INTERSTATE WATER POLLUTION CONTROL COMMISSION. ILLICIT DISCHARGE DETECTION AND ELIMINATION MANUAL: A Handbook for Municipalities [online]. 2003 [cit. 2013-04-26]. Dostupné z: http://neiwpc.org/neiwpc_docs/iddmanual.pdf
- [8] DADO, M., TUREK, I. , ŠTELINA, J. , BITTERE, L., TUREK, S., GROLMUS, E., STIBOR, P.: Kapitoly z optiky pre technikov, Žilinská univerzita, Žilina, 1998. ISBN 80-7100-390-5
- [9] MATĚJKA, P.: Ramanova spektrometrie [online]. 2008, [cit. 2013-04-26]. Dostupné z: <http://www.vscht.cz/anl/lach2/RAMAN.pdf>
- [10] AGRAWAL, Govind P. THE INSTITUTE OF OPTICS UNIVERSITY OF ROCHESTER. Nonlinear Fiber Optics. Academic Press, 1995. Third. ISBN 0-12-045143-3.
- [11] THE UNIVERSITY OF TEXAS AT DALLAS. STIMULATED RAMAN SCATTERING [online]. 2000 [cit. 2013-04-01]. Dostupné z: <http://www.utdallas.edu/~cantrell/ee6328/srs.pdf>
- [12] KOUDELKA, Petr, HANÁČEK, František, LÁTAL, Jan, ŠÍŠKA, Petr.: Úvod do distribuovaných optovláknových systémů založených na Ramanově jevu pro měření

-
- teploty [online]. VŠB - TU Ostrava, 2009, s. 14 [cit. 2013-04-26]. ISSN 1214-9675. Dostupné z: <http://access.feld.cvut.cz/view.php?nazevclanku=uvod-do-distribuvanych-optovlaknovych-systemu-zalozenych-na-ramanove-jevu-pro-mereni-teploty&cislocclanku=2010030001>
- [13] VESELÝ, Ondřej, Jakub ČUBÍK a Stanislav KEPÁK. Využití DTS v kabelové technice. 2012, s. 1. Dostupné z: http://kabex.data.quonia.cz/Onas/DTS_kabely_Elektro_7_2012.pdf
- [14] SENSORNET LTD. Sentinel DTS User Guide. London.
- [15] LÁTAL, Jan, Petr KOUDELKA a František HANÁČEK. VYUŽITÍ DISTRIBUOVANÝCH OPTOVLÁKNOVÝCH SYSTÉMŮ PŘI DETEKCI PRŮVANŮ V JESKYNNÍCH SYSTÉMECH. [online]. VŠB - TU Ostrava, 2010, s. 7 [cit. 2013-04-26]. ISSN 1213-1539. Dostupné z: <http://www.elektrorevue.cz/cz/download/vyuziti-distibuovanych-optovlaknovych-systemu-pri-detekci-pruvanu-v-jeskynnich-systemech/>
- [16] KOUDELKA, Petr, LÁTAL, Jan, VITASEK, Jan, HURTA, Jan, ŠIŠKA, Petr, LINER, Andrej, PAPES, Martin.: Implementation of Optical Meanders of the Optical-Fiber DTS System Based on Raman Stimulated Scattering into the Building Processes. VŠB - TU Ostrava, 2012, s. 187-194.
- [17] HOES, O.A.C. Locating illicit connections in storm water sewers using fiber-optic distributed temperature sensing, ISSN 0043-1354, December 2009.
- [18] Wikipédia. Matlab [online]. [cit. 2013-04-26]. Dostupné z: <http://sk.wikipedia.org/wiki/MATLAB>
- [19] LITSCHMANOVÁ, Martina. Vybraná rozdělení diskrétní a spojité náhodné veličiny [online]. [cit. 2013-04-26]. Dostupné z: http://homel.vsb.cz/~lit40/STA1/Materialy/rozdeleni_NV.pdf
- [20] Langeveld, J. G., De Haan, C., Klootwijk, M., & Schilperoort, R. P. S. Monitoring the performance of a storm water separating manifold with DTS [online]. 2011 [cit. 2013-04-26]. Dostupné z: <http://web.sbe.hw.ac.uk/staffprofiles/bdgsa/temp/2th%20ICUD/PDF/PAP005274.pdf>
- [21] DUŠEK, Martin a Michal MAZANEC. Fyzikální principy optických a optovláknových snímačů. Ústav automatizace a měřicí techniky, 2012, 27 s. [cit. 2013-04-26]. Dostupné z: http://www.crr.vutbr.cz/system/files/brozura_06_1206.pdf

Zoznam ilustrácií

Obrázok 2.1:	Znázornenie objemu odpadných vôd vypustených do kanalizácie [mil.m ³],[2].....	3
Obrázok 3.1:	Základné tvary priečných profilov stok.....	7
Obrázok 3.2:	Napojenie splaškovej prípojky do dažďovej kanalizácie.....	8
Obrázok 5.1:	Spektra a posun rozptýleného žiarenia.....	15
Obrázok 5.2:	Optická schéma meracieho systému.....	15
Obrázok 6.1:	Typická schéma zapojenia DTS zariadenia.....	19
Obrázok 6.2:	Charakteristické snímanie teploty zariadením DTS.....	20
Obrázok 6.3:	Schéma meranej trasy v laboratórnych podmienkach.....	21
Obrázok 6.4:	Namerané data zo zariadenia DTS v čase 8:30.....	22
Obrázok 6.5:	Zachytené kontaminované miesto zariadením DTS v čase 8:58.....	23
Obrázok 6.6:	Nezachytené kontaminované miesto zariadením DTS v čase 10:31.....	23
Obrázok 6.7:	Hlavné okno aplikácie.....	25
Obrázok 6.8:	Hlavné okno protokolu.....	26
Obrázok 6.9:	Hustota normálneho rozdelenia.....	27
Obrázok 6.10:	Intervaly vypočítané aplikáciou.....	28
Obrázok 6.11:	Rozloženie teplotných hodnôt do intervalov.....	29
Obrázok 6.12:	Rozdelenie hodnôt hornou hranicou.....	29
Obrázok 6.13:	Štatistické údaje pre jednotlivé vzdialenosti.....	30
Obrázok 6.14:	Grafy jednotlivých trás s tabuľkou nájdených kontaminovaných miest.....	31
Obrázok 6.15:	Celková teplotná mapa laboratórneho merania.....	32
Obrázok 6.16:	Nežiaduca časť pri priblížení konca trasy.....	32
Obrázok 6.17:	Natavené parametre trasy.....	33
Obrázok 6.18:	Teplotná mapa s definovanými parametrami trasy.....	33
Obrázok 6.19:	Graf rozloženia hodnôt v intervaloch.....	34
Obrázok 6.20:	Definovaná hranica a tabuľka nájdených kontaminovaných miest.....	34
Obrázok 6.21:	Označené vyhľadane miesta a) teplotná mapa b)celková tabuľka hodnôt.....	35
Obrázok 7.1:	Štruktúra optického kábla BRUsteel LLK-BST 2F.....	36
Obrázok 7.2:	Štruktúra optického kábla MM Simplex PVC.....	36
Obrázok 7.3:	Spojenie optických káblov a úprava z dôvodu eliminácie strát.....	37
Obrázok 7.4:	Schéma zapojenia meranej trasy.....	38
Obrázok 7.5:	Vstup optických káblov do zrážkovej kanalizácie.....	39
Obrázok 7.6:	Graf nameraných teplotných hodnôt celej trasy reálneho merania.....	39
Obrázok 7.7:	Graf nameraných teplotných hodnôt oboch optických káblov v kanalizácii.....	40
Obrázok 7.8:	Nastavené parametre trasy.....	41

<i>Obrázok 7.9: Teplotná mapa meranej trasy optických káblov.....</i>	<i>41</i>
<i>Obrázok 7.10: Lokalizácia nelegálneho vypúšťania vo vzdialenosti 140,34 m na optickom kábli s voľnou sekundárnou ochranou</i>	<i>42</i>
<i>Obrázok 7.11: Lokalizácia nelegálneho vypúšťania vo vzdialenosti 71,437 m na optickom kábli s tesnou sekundárnou ochranou.....</i>	<i>42</i>
<i>Obrázok 7.12: Namerané teplotné hodnoty optických káblov v čase 9:50:02</i>	<i>44</i>
<i>Obrázok 7.13: Namerané teplotné hodnoty optických káblov vo vzdialenosti 20 m</i>	<i>44</i>
<i>Obrázok 7.14: Graf vypočítaných priemerných teplotných hodnôt optických káblov.....</i>	<i>45</i>

Zoznam tabuliek

<i>Tabuľka 2.1:</i>	<i>Prehľad znečisťujúcich látok v odpadných vodách</i>	<i>3</i>
<i>Tabuľka 6.1:</i>	<i>Parametre zariadenia Sentinel DTS LR</i>	<i>18</i>
<i>Tabuľka 6.2:</i>	<i>Základne parametre konfigurácie DTS</i>	<i>20</i>
<i>Tabuľka 6.3:</i>	<i>Kontaminované miesta na trase</i>	<i>22</i>
<i>Tabuľka 6.4:</i>	<i>Výsledná tabuľka laboratórneho merania.....</i>	<i>35</i>
<i>Tabuľka 7.1:</i>	<i>Charakteristiky optických káblov</i>	<i>37</i>

Zoznam príloh

Príloha.A:	Importované dáta v súbore .ddf	I
Príloha.B:	Protokol z laboratórneho merania analyzačným softwarom.....	II
Príloha.C:	Protokol zo zariadenia OTDR meranej trasy v učebni	III
Príloha.D:	Protokol zo zariadenia OTDR meranej poškodenej trasy v kanalizácií.....	VII
Príloha.E:	Obrázky analyzačnej aplikácie grafov z reálneho merania.....	XI
Príloha.F:	Protokol z analyzačného softwaru reálneho merania optického čierneho optického kábla s voľnou sekundárnou ochranou	XIII
Príloha.G:	Protokol z analyzačného softwaru reálneho merania fialového optického kábla s tesnou sekundárnou ochranou	XIV

Súčasťou BP/DP je CD/DVD.

Adresárová štruktúra priloženého CD/DVD:

```
aplikacia\  
    analyzator.fig  
    analyzator.m  
    protokol.fig  
    protokol.m  
DTS_meranie\  
    lab_DTS_22.11\  
        nov\  
            (súbory).ddf  
protokoly\  
    protokol_cierny_kabel.pdf  
    protokol_fialovy_kabel.pdf  
    protokol_lab.pdf  
Veolia_kanalizace\  
    Veolia_kanalizace\  
        2013\  
            apr\  
                (súbory).ddf  
DP_chl173.pdf
```

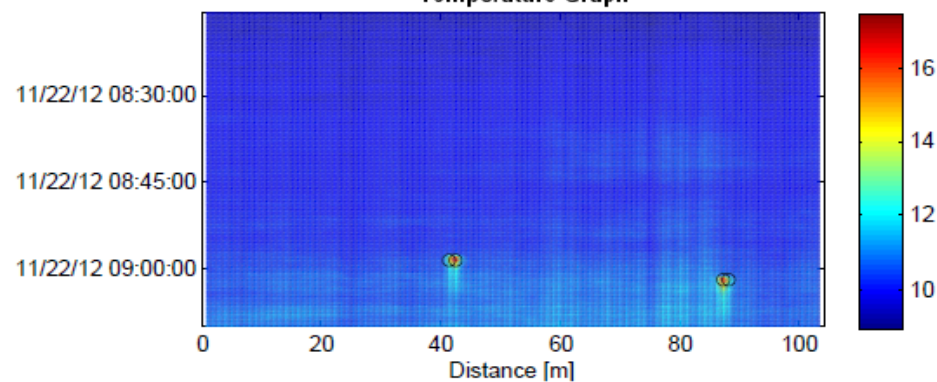

Príloha.A: Importované dáta v súbore .ddf

A1		DTS Sentinel unit serial number:						
	A	B	C	D	E	F	G	H
1	DTS Sentinel unit serial number:	SN208115						
2	Multiplexer serial number:	no multiplexer						
3	Hardware model number:	SEN2MR						
4	Software version number:	3.7						
5	data status	ok						
6	installation	chlebek2						
7	differential loss correction	single-ended						
8	forward channel	chlebek2						
9	reverse channel	N/A						
10	date	22.11.2012						
11	time	8:15:48						
12	forward acquisition time	10.19						
13	reverse acquisition time	NaN						
14	gamma	501.9000						
15	k internal	0.1949						
16	k external	0.1949						
17	temperature offset calibration	0.9929						
18	default loss term (dB/km)	0.2890						
19	temperature slope calibration	1.0000						
20	multiplexer offset coefficient	0.0000						
21	multiplexer slope coefficient	0.0000						
22	fibre end	NaN						
23	T internal ref (°C)	26.1						
24	T ext. ref 1 (°C)	0.72						
25	T ext. ref 2 (°C)	0.38						
26	length (m)	temperature (°C)	Stokes	anti-Stokes				
27	-373.500	-160.355	-0.543	0.033				
28	-372.485	-200.000	-0.052	0.972				
29	-371.469	-154.721	0.548	0.041				
30	-370.454	113.929	-0.617	0.876				
31	-369.438	-200.000	-0.103	-1.277				
32	-368.423	-2.604	-1.122	-0.911				
33	-367.407	-79.618	-1.169	0.454				
34	-366.392	-98.233	-1.512	0.445				
35	-365.377	460.974	-0.634	-1.661				
36	-364.361	800.000	-0.229	1.123				
37	-363.346	-52.135	0.400	-0.214				
38	-362.330	217.147	-0.454	0.846				
		chlebek2 20121122 002 00001						
Prípravený		70 %						

Sewer Inspection Report LAB3

Name:	Martin	Issue Date:	14.3 2013	City:	OSTRAVA	from Manhole:	I01526
Surname:	Chlebek	Contract:	VSB	Street:	Krasnopska	to Manhole:	87ASDF
Personal no.:	CHL173	Project:	DIPLOMKA	Street Code:	567GHJ	Material:	PVC
				Section no.:	098RT	Weather:	Zamraceno

Temperature Graph



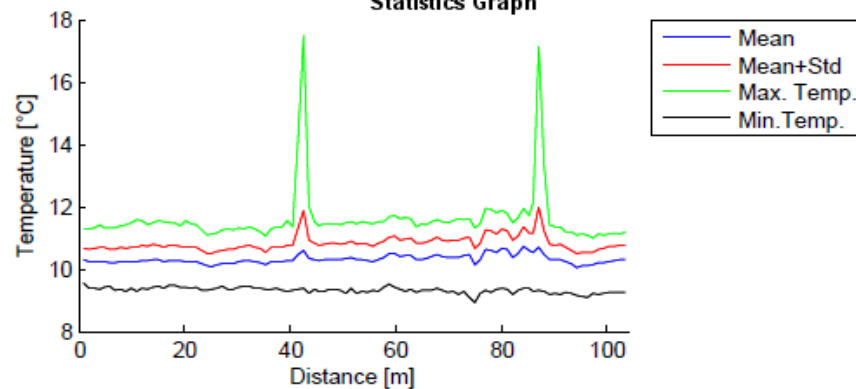
Route Information

Date of Measurement:	2012/11/22	Max. Temperature:	17.49 °C
Length of Route:	104.00 m	Min. Temperature:	8.95 °C
Measurement Time:	00:54:26	Mean. Temperature:	10.32 °C

Finding Contaminated Sites

	Distance	Time	Mean Temp.	Min. Temp.	Max. Temp.	
1	41.472	11/22/12 08:58:42	10.4742	9.369	14.269	
2	42.487	11/22/12 08:58:32	10.5942	9.391	17.488	
3	87.166	11/22/12 09:01:55	10.7032	9.318	17.137	
4	88.181	11/22/12 09:01:55	10.4773	9.287	13.338	

Statistics Graph

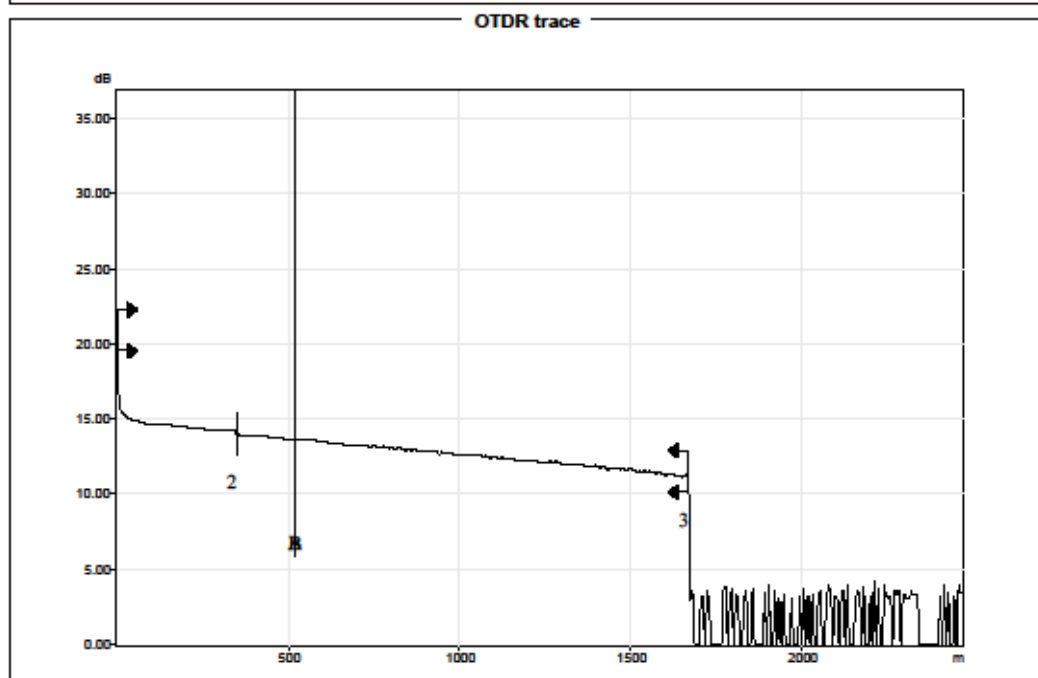


OTDR report

Job info			
Job ID	: Meranie OTDR	Reason	: Bakalárska práca
Contractor	: KAT 440	Operator A	: Michal Micek
Customer	: fialova spolka	Operator B	:
Test date	: 15.4.2013 (18:55:46 GMT-5:00)	File	: Unnamed

Cable info			
Fiber ID	: Trinec3	Cable ID	: Nespecifikováno
Location A	: Vstup krystalizatoru	Location B	: Vystup krystalizatoru
Cable mfr.	: OFS	Type	: MM 50 125
Subset ID	:	Color ID	:

Link measurements			
Span loss	: 3.9954 dB	Avg. splice loss	: 0.1725 dB
Span length	: 1.6676 km	Max. splice loss	: 0.1725 dB
Average loss	: 2.3958 dB/km	Span ORL	: 0.00 dB



OTDR report

Events table						
No.	Loc. (km)	Event type	Loss (dB)	Ref. (dB)	Att. (dB/km)	Cumul. (dB)
1	0.0000	Launch Level	---	-21.0		0.0000
2	0.3492	Fiber Section (0.3492 km)	1.0537		3.018	1.0537
		Non-Reflective Fault	0.1725			1.2262
3	1.6676	Fiber Section (1.3184 km)	2.7691		2.100	3.9954
		Reflective Fault	---	-35.9		3.9954

Marker info			
A	: 0.5185 km, 13.686 dB	B	: 0.5224 km, 13.635 dB
a	: 0.5179 km, 13.805 dB	b	: 0.5225 km, 13.791 dB
A to B distance	: 0.0040 km, 0.051 dB	A to B ORL	: 50.47 dB
3-pt. reflectance	: *****	2-pt. sect. att.	: 12.794 dB/km
A to B LSA loss	: 0.0561 dB		

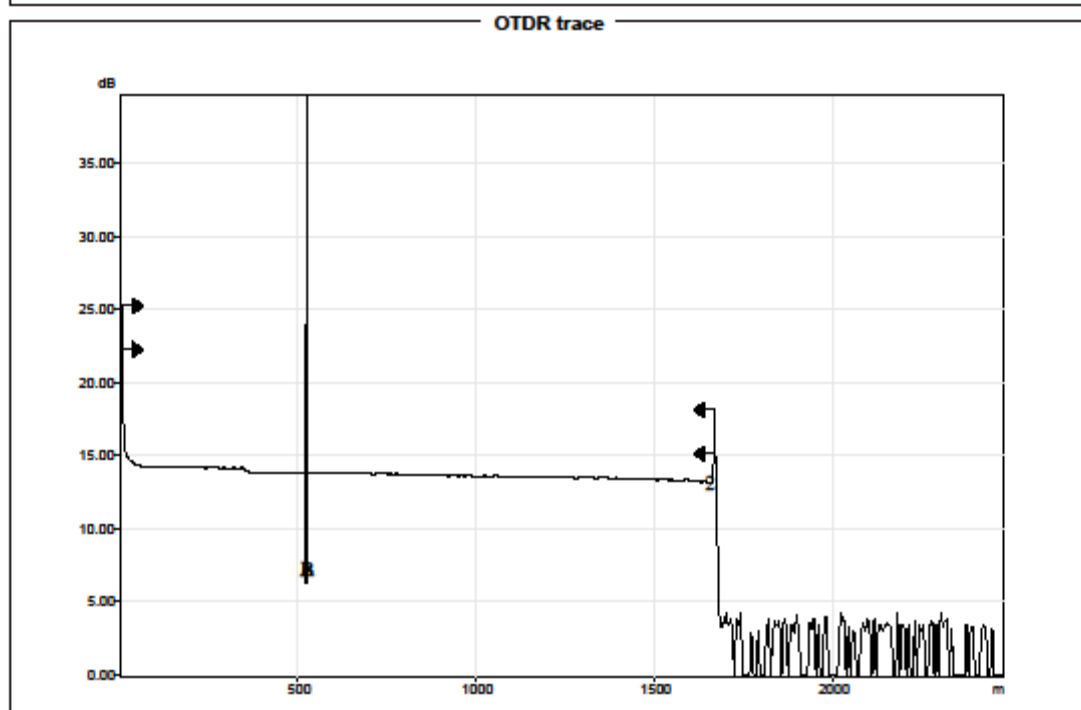
Test and cable setup			
Wavelength	: 850 nm (MM-50µm)	Acq. time	: 15 s
Filename	: Unnamed	Pulse width	: 5 ns
Hardware	: FTB-7200D-12CD-23B-EA	Helix factor	: 0.00 %
Serial number	: 422810	Splice loss threshold	: 0.0200 dB
Software	: OTDR Advanced 6.14.19.221	Reflectance threshold	: -72.0 dB
Range	: 2.5000 km	End-of-fiber threshold	: 3.0000 dB
IOR	: 1.490000		
RBS	: -66.30		

OTDR report

Job info			
Job ID	: Meranie OTDR	Reason	: Bakalárska práca
Contractor	: KAT 440	Operator A	: Michal Micek
Customer	: fialova spolka	Operator B	:
Test date	: 15.4.2013 (18:56:03 GMT-5:00)	File	: Unnamed

Cable info			
Fiber ID	: Trinec3	Cable ID	: Nespecifikovano
Location A	: Vstup krystalizatoru	Location B	: Vystup krystalizatoru
Cable mfr.	: OFS	Type	: MM 50 125
Subset ID	:	Color ID	:

Link measurements			
Span loss	: 1.0599 dB	Avg. splice loss	: ---
Span length	: 1.6669 km	Max. splice loss	: ---
Average loss	: 0.6358 dB/km	Span ORL	: 0.00 dB



OTDR report

Events table						
No.	Loc. (km)	Event type	Loss (dB)	Ref. (dB)	Att. (dB/km)	Cumul. (dB)
1	0.0000	Launch Level	---	-21.9		0.0000
2	1.6669	Fiber Section (1.6669 km) Reflective Fault	1.0599 ---	-36.9	0.636	1.0599 1.0599

Marker info			
A	: 0.5185 km, 13.970 dB	B	: 0.5224 km, 13.779 dB
a	: 0.5179 km, 13.897 dB	b	: 0.5225 km, 13.792 dB
A to B distance	: 0.0040 km, 0.190 dB	A to B ORL	: 58.09 dB
3-pt. reflectance	: *****	2-pt. sect. att.	: 47.979 dB/km
A to B LSA loss	: 0.0108 dB		

Test and cable setup			
Wavelength	: 1300 nm (MM-50µm)	Acq. time	: 15 s
Filename	: Unnamed	Pulse width	: 5 ns
Hardware	: FTB-7200D-12CD-23B-EA	Helix factor	: 0.00 %
Serial number	: 422810	Splice loss threshold	: 0.0200 dB
Software	: OTDR Advanced 6.14.19.221	Reflectance threshold	: -72.0 dB
Range	: 2.5000 km	End-of-fiber threshold	: 3.0000 dB
IOR	: 1.488000		
RBS	: -73.70		

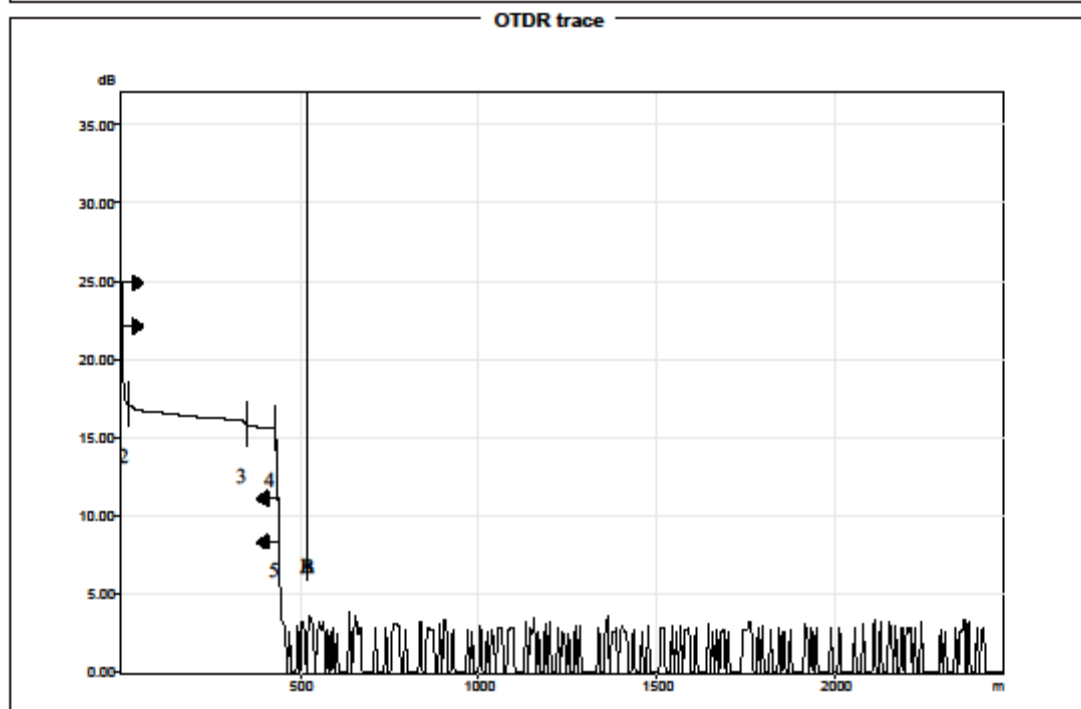
Príloha.D: Protokol zo zariadenia OTDR meranej poškodenej trasy v kanalizácii

OTDR report

Job info			
Job ID	: Meranie OTDR	Reason	: Bakalárska práca
Contractor	: KAT 440	Operator A	: Michal Míček
Customer	: fialova spolka	Operator B	:
Test date	: 18.4.2013 (12:08:15 GMT-5:00)	File	: Unnamed

Cable info			
Fiber ID	: Trinec3	Cable ID	: Nespecifikováno
Location A	: Vstup krystalizatoru	Location B	: Vystup krystalizatoru
Cable mfr.	: OFS	Type	: MM 50 125
Subset ID	:	Color ID	:

Link measurements			
Span loss	: 2.6790 dB	Avg. splice loss	: 0.5391 dB
Span length	: 0.4399 km	Max. splice loss	: 0.7954 dB
Average loss	: 6.0907 dB/km	Span ORL	: 0.00 dB



OTDR report

Events table						
No.	Loc. (km)	Event type	Loss (dB)	Ref. (dB)	Att. (dB/km)	Cumul. (dB)
1	0.0000	Launch Level	---	-22.8		0.0000
2	0.0188	Fiber Section (0.0188 km)	0.0941		5.000	0.0941
		Non-Reflective Fault	0.5249			0.6191
3	0.3503	Fiber Section (0.3315 km)	0.7524		2.270	1.3714
		Non-Reflective Fault	0.2968			1.6682
4	0.4318	Fiber Section (0.0815 km)	0.1751		2.149	1.8433
		Non-Reflective Fault	0.7954			2.6388
5	0.4399	Fiber Section (0.0081 km)	0.0403		5.000	2.6790
		Reflective Fault	---	-51.0		2.6790

Marker info			
A	: 0.5185 km, 1.905 dB	B	: 0.5224 km, 2.546 dB
a	: 0.5179 km, 0.000 dB	b	: 0.5225 km, 0.000 dB
A to B distance	: 0.0040 km, -0.641 dB	A to B ORL	: -----
3-pt. reflectance	: -----	2-pt. sect. att.	: -161.405 dB/km
A to B LSA loss	: -3.8299 dB		

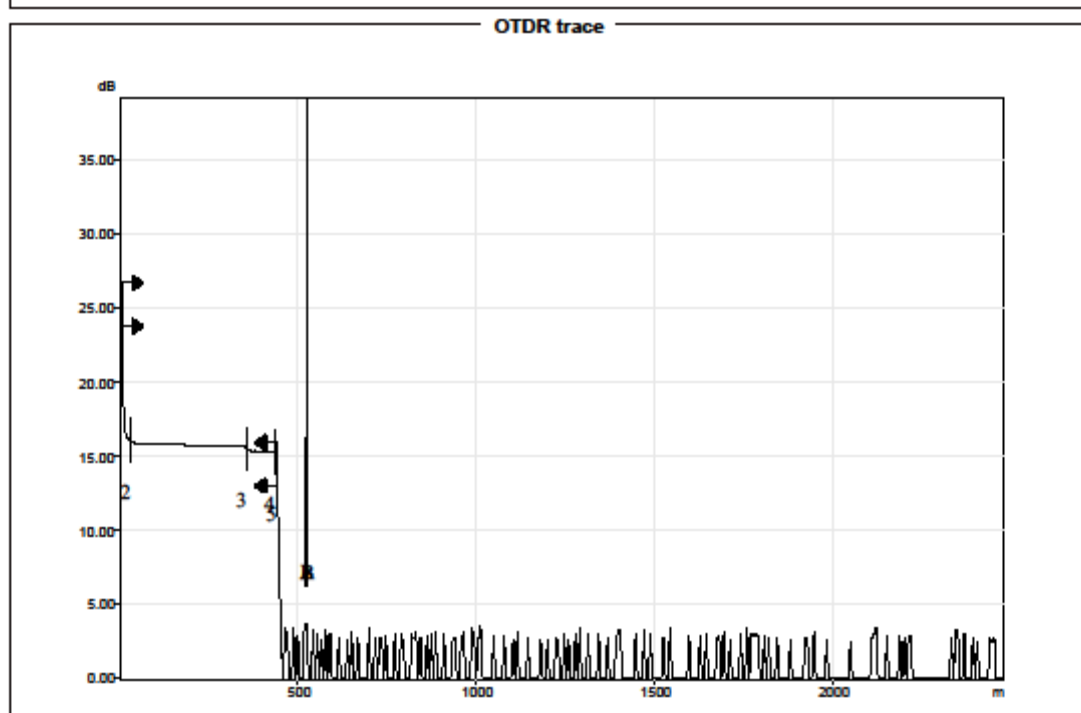
Test and cable setup			
Wavelength	: 850 nm (MM-50µm)	Acq. time	: 30 s
Filename	: Unnamed	Pulse width	: 10 ns
Hardware	: FTB-7200D-12CD-23B-EA	Helix factor	: 0.00 %
Serial number	: 422810	Splice loss threshold	: 0.0200 dB
Software	: OTDR Advanced 6.14.19.221	Reflectance threshold	: -72.0 dB
Range	: 2.5000 km	End-of-fiber threshold	: 3.0000 dB
IOR	: 1.490000		
RBS	: -66.30		

OTDR report

Job info			
Job ID	: Meranie OTDR	Reason	: Bakalárska práca
Contractor	: KAT 440	Operator A	: Michal Micek
Customer	: fialova spolka	Operator B	:
Test date	: 18.4.2013 (12:08:48 GMT-5:00)	File	: Unnamed

Cable info			
Fiber ID	: Trinec3	Cable ID	: Nespecifikovano
Location A	: Vstup krystalizatoru	Location B	: Vystup krystalizatoru
Cable mfr.	: OFS	Type	: MM 50 125
Subset ID	:	Color ID	:

Link measurements			
Span loss	: 1.9868 dB	Avg. splice loss	: 0.5408 dB
Span length	: 0.4397 km	Max. splice loss	: 0.8408 dB
Average loss	: 4.5190 dB/km	Span ORL	: 25.01 dB



OTDR report

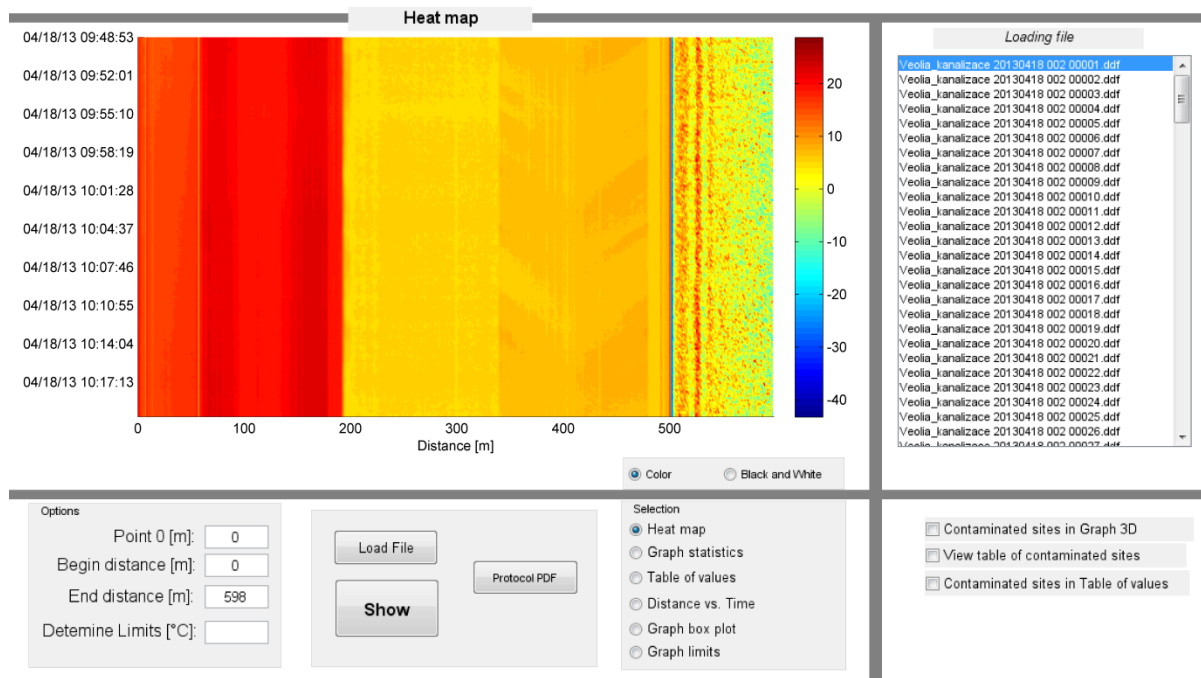
Events table						
No.	Loc. (km)	Event type	Loss (dB)	Ref. (dB)	Att. (dB/km)	Cumul. (dB)
1	0.0000	Launch Level	---	-24.7		0.0000
2	0.0285	Fiber Section (0.0285 km)	0.0628		2.200	0.0628
		Non-Reflective Fault	0.5158			0.5786
3	0.3504	Fiber Section (0.3218 km)	0.2443		0.759	0.8228
		Non-Reflective Fault	0.2657			1.0886
4	0.4322	Fiber Section (0.0818 km)	0.0410		0.501	1.1296
		Non-Reflective Fault	0.8409			1.9705
5	0.4387	Fiber Section (0.0074 km)	0.0164		2.200	1.9868
		Reflective Fault	---	-50.2		1.9868

Marker info			
A	: 0.5185 km, 5.660 dB	B	: 0.5224 km, 6.395 dB
a	: 0.5179 km, 7.246 dB	b	: 0.5225 km, 6.685 dB
A to B distance	: 0.0040 km, -0.734 dB	A to B ORL	: -----
3-pt. reflectance	: -----	2-pt. sect. att.	: -185.026 dB/km
A to B LSA loss	: 1.6024 dB		

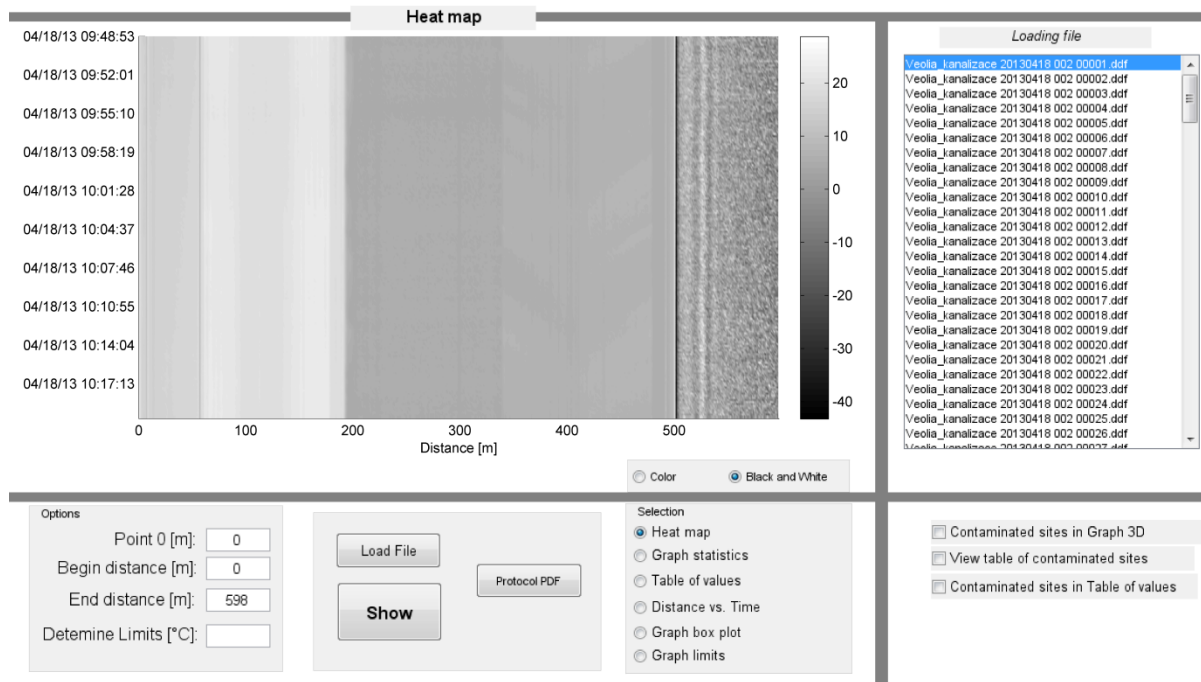
Test and cable setup			
Wavelength	: 1300 nm (MM-50µm)	Acq. time	: 30 s
Filename	: Unnamed	Pulse width	: 10 ns
Hardware	: FTB-7200D-12CD-23B-EA	Helix factor	: 0.00 %
Serial number	: 422810	Splice loss threshold	: 0.0200 dB
Software	: OTDR Advanced 6.14.19.221	Reflectance threshold	: -72.0 dB
Range	: 2.5000 km	End-of-fiber threshold	: 3.0000 dB
IOR	: 1.486000		
RBS	: -73.70		

Príloha.E: Obrázky analyzačnej aplikácie grafov z reálneho merania

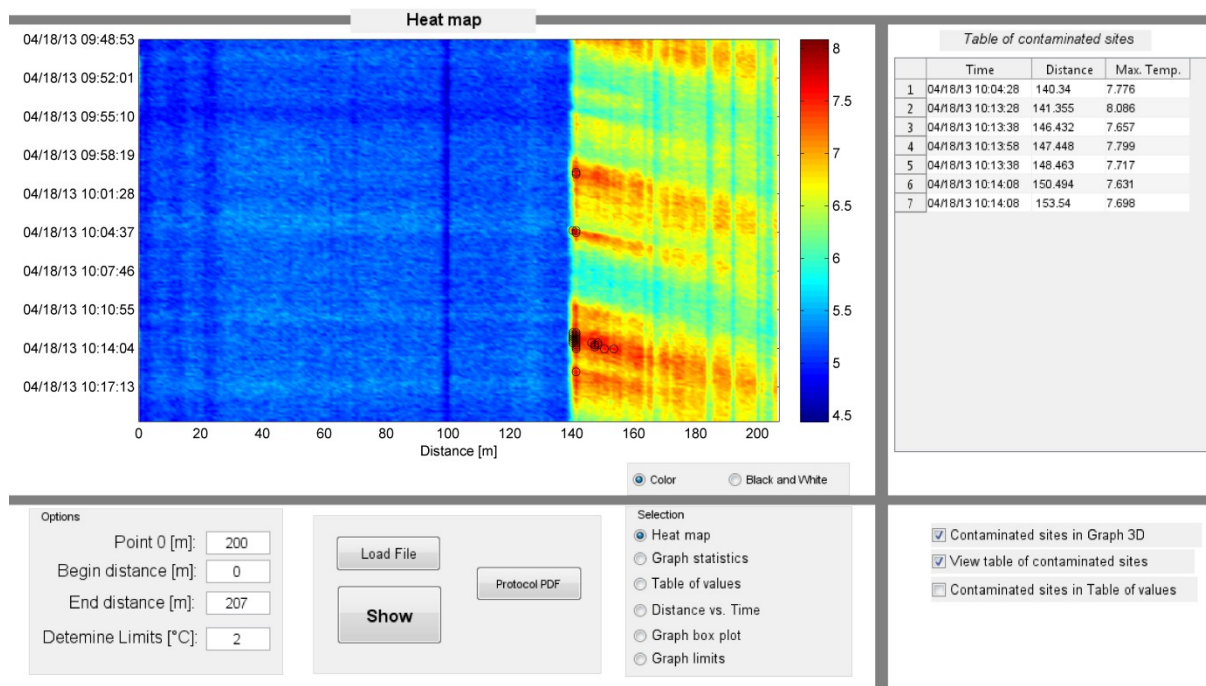
Celková meraná trasa farebný graf Heat map



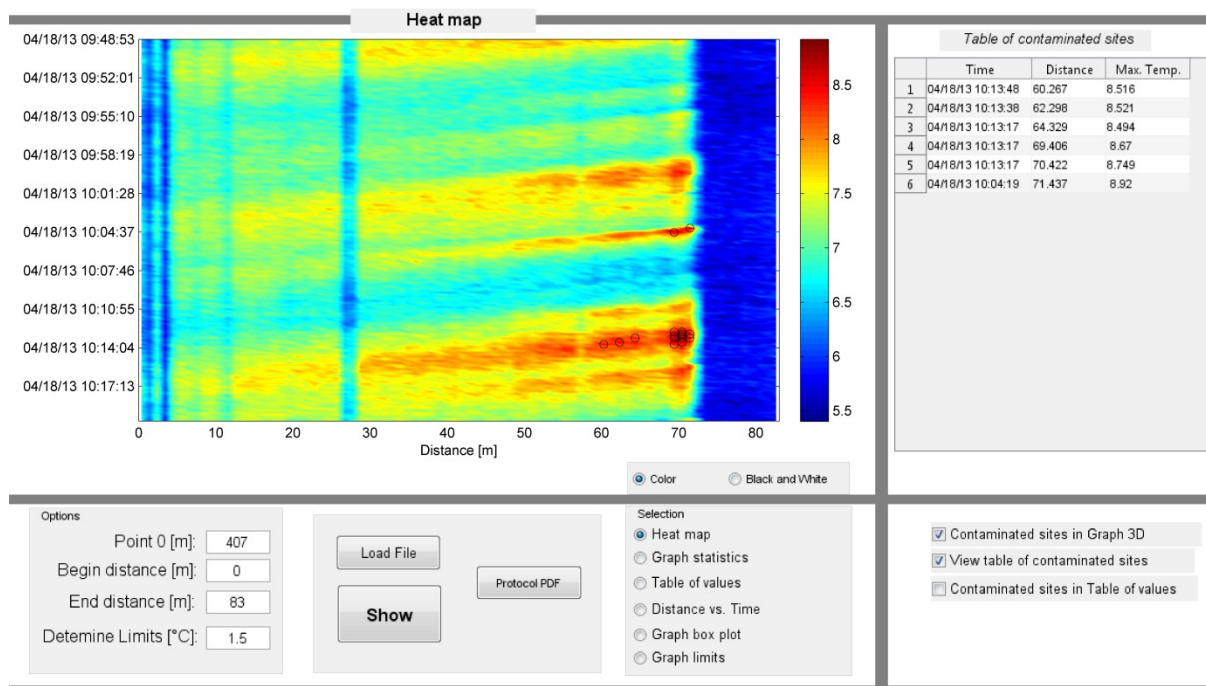
Celková meraná trasa čierno biely graf Heat map



Kontaminované miesta pozdĺž čierneho optického kábla s voľnou sekundárnou ochranou



Kontaminované miesta pozdĺž fialového optického kábla s tesnou sekundárnou ochranou



Sewer Inspection Report P1

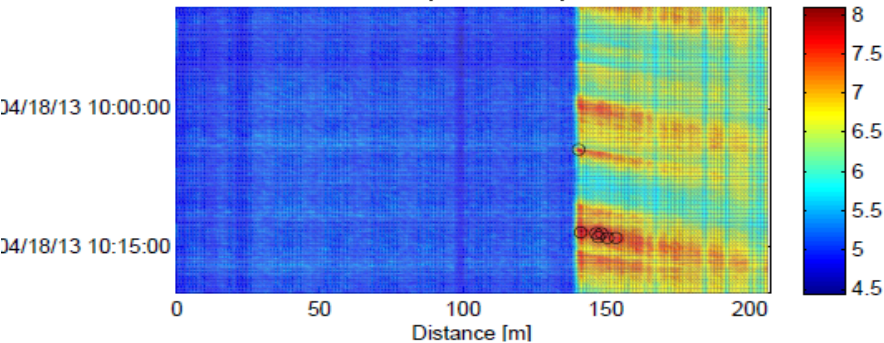
Name: **Martin**
Surname: **Chlebek**
Personal no.: **chl173**

Issue Date: **19.4 2013**
Contract: **VSB**
Project: **Diplomka**

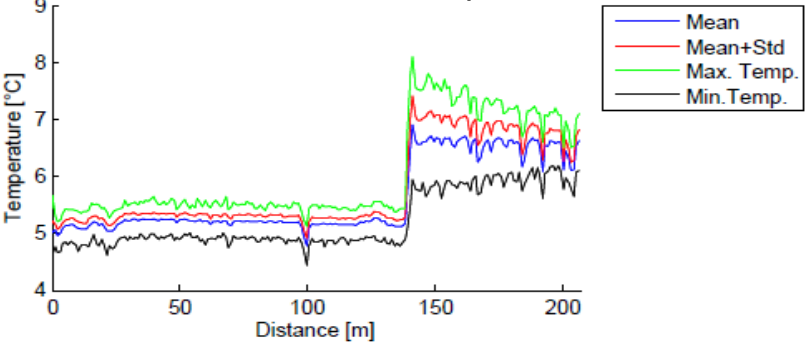
City: **Praha**
Street: **Rezlerova**
Street Code:
Section no.:

from Manhole:
to Manhole:
Material:
Weather:

Temperature Graph



Statistics Graph



Route Information

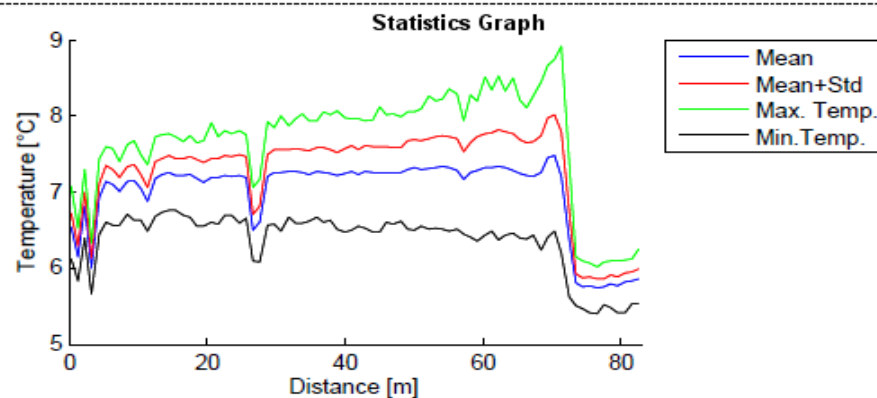
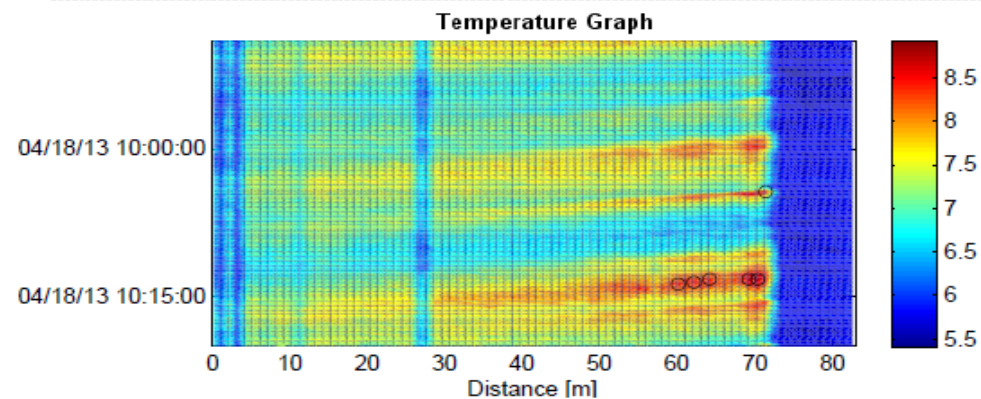
Date of Measurement:	2013/04/18	Max. Temperature:	8.09 °C
Length of Route:	207.00 m	Min. Temperature:	4.44 °C
Measurement Time:	00:31:10	Mean Temperature:	5.62 °C

Finding Contaminated Sites

	Distance	Time	Mean Temp.	Min. Temp.	Max. Temp.	
1	140.34	04/18/13 10:04:28	6.4983	5.502	7.776	
2	141.355	04/18/13 10:13:28	6.8973	5.942	8.086	
3	146.432	04/18/13 10:13:38	6.6019	5.642	7.657	
4	147.448	04/18/13 10:13:58	6.6476	5.703	7.799	
5	148.463	04/18/13 10:13:38	6.7012	5.818	7.717	
6	150.494	04/18/13 10:14:08	6.6689	5.923	7.631	
7	153.54	04/18/13 10:14:08	6.6757	5.82	7.698	

Sewer Inspection Report P2

Name: Martin	Issue Date: 19.4 2013	City: Praha	from Manhole:
Surname: Chlebek	Contract: VSB	Street: Rezlerova	to Manhole:
Personal no.: chl173	Project: Diplomka	Street Code:	Material: tesna ochrana
		Section no.:	Weather:



Route Information

Date of Measurement:	2013/04/18	Max. Temperature:	8.92 °C
Length of Route:	83.00 m	Min. Temperature:	5.40 °C
Measurement Time:	00:31:10	Mean. Temperature:	6.99 °C

Finding Contaminated Sites

	Distance	Time	Mean Temp.	Min. Temp.	Max. Temp.	
1	60.267	04/18/13 10:13:48	7.3191	6.435	8.516	
2	62.298	04/18/13 10:13:38	7.3331	6.362	8.521	
3	64.329	04/18/13 10:13:17	7.2816	6.452	8.494	
4	69.406	04/18/13 10:13:17	7.4565	6.407	8.67	
5	70.422	04/18/13 10:13:17	7.475	6.479	8.749	
6	71.437	04/18/13 10:04:19	7.2	6.194	8.92	